



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



“Evaluación del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante, en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba 2017”

**Tesis para optar el título profesional de
INGENIERO SANITARIO**

AUTOR:

Bach. Luis Salvador Juárez Chota

ASESOR:

Ing. M.Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza

Código N° 6052417.

Moyobamba – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



TESIS

“Evaluación del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofitas flotantes, en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba 2017”

PRESENTADO POR:

Bach. Luis Salvador Juárez Chota

Sustentado y aprobado ante el honorable jurado el día 02 de Mayo del 2018

Ing. M.Sc. Mirtha Felicita VALVERDE VERA
Presidente

Ing. Juan José PINEDO CANTA
Secretario

Bgo. M.Sc. Luis Eduardo RODRIGUEZ PÉREZ
Miembro

Ing. M.Sc. Yrwin Francisco AZABACHE LIZA
Asesor

Declaratoria de Autenticidad

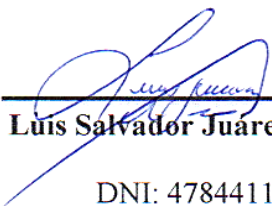
Yo Luis Salvador Juárez Chota, con DNI N° 47844113, egresado de la Facultad de Ecología, de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: Evaluación del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante, en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba 2017.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias que mi acción derive, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 21 de mayo del 2018


Luis Salvador Juárez Chota
DNI: 47844113



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: <u>JUÁREZ CHOTA, LUIS SALVADOR</u>	
Código de alumno : <u>115208</u>	Teléfono: <u>938268941</u>
Correo electrónico : <u>luis.93sc@gmail.com</u>	DNI: <u>47844113</u>

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: <u>ECOLOGIA</u>
Escuela Profesional de: <u>INGENIERIA SANITARIA</u>

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: <u>"Evaluación del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofitas flotantes, en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba 2017"</u>
Año de publicación: <u>2018</u>

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital:

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”**.

.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

10 / 07 / 2018



.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

* **Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

*Dedico al esfuerzo de mis padres, por su paciencia,
por su amor incondicional, por el aliento de vida que
me motivan a seguir adelante porque sin su infinito
apoyo no habría sido sencillo lograr mis objetivos
profesionales, agradecerles por brindarme sus sabios
consejos en la toma de decisiones firmes sin dudar de
mi capacidad, ustedes son mis mejores amigos que
me apoyaron más que en el desarrollo de la tesis a mi
vocación profesional.*

*A Dios, por brindarme sabiduría y así poder
demostrar aún más mi capacidad intelectual, más
que todo a compartir mis conocimientos para
lograr cada día un mundo mejor.*

L.S.J.C

AGRADECIMIENTO

Al Ing. M.Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza, por sus conocimientos, por brindarme parte de su tiempo hacia las recomendaciones durante la elaboración y revisión de la presente tesis hasta la finalización de este proyecto.

A la Universidad de Nacional de San Martín - Facultad de Ecología, por su apoyo en la disposición del laboratorio de Biología y Química; asimismo, agradezco a todo el personal del laboratorio de dicha Universidad por su confianza y apoyo en las mediciones fisicoquímicas realizadas.

A la Oficina de Investigación y Desarrollo de la UNSM-T, por el financiamiento a la presente investigación.

Al Med. Vet. Luis Ángel Quintana Montalvo administrador del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba, por brindarme autorización y facilidades en la ejecución de la presente investigación en las instalaciones del matadero municipal.

Al Sr. Miguel Olortegui Lavajos trabajador del matadero municipal, por su tiempo y dedicación en la operatividad del sistema de tratamiento de aguas residuales, pieza fundamental durante la ejecución del presente proyecto de investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación	4
1.2. Bases teóricas	6
1.2.1. La industria del camal o mataderos.	6
1.2.2. Problemas ambientales originados por la industria del camal.....	7
1.2.3. Parámetros de importancia del sector cárnico.	7
1.2.4. Características del agua residual provenientes de un camal o matadero... 7	
1.2.5. Tratamiento de las aguas residuales.	9
1.2.6. Legislación vigente relacionada al vertido de aguas residuales.	15
1.3. Definición de términos básicos	16

CAPITULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material.	18
2.2. Método.	19
2.2.1. Tipo y nivel de la investigación.....	19
2.2.2. Diseño de investigación.....	19

2.2.3. Población y muestra.....	19
2.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	19
2.2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	25

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.Diseño del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante (<i>Eichhornia crassipes spp</i>).....	27
3.2. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, sólidos totales disueltos, fosfato, nitrato, oxígeno disuelto, DQO y DBO ₅) y comparación del efluente final con los valores máximos admisibles (VMA).	30
3.3. Determinación de la remoción del agua residual mediante la eficiencia de tratamiento.	40
3.4. Determinación de la influencia de factores externos en el sistema de tratamiento del humedal artificial.	47
3.5. Evaluación del humedal artificial en la remoción de aguas residuales.	50
3.6. Discusión de resultados.....	54
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	61
ANEXOS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Plantas acuáticas utilizadas en humedales artificiales.....	12
Figura 2: Morfología de <i>Eichhornia crassipes</i> spp.....	15
Figura 3: Diseño estructural del humedal artificial.....	28
Figura 4: Diseño hidráulico del humedal artificial.....	29
Figura 5: Caracterización del pH.....	30
Figura 6: Caracterización de la Temperatura.....	31
Figura 7: Caracterización de STD.....	32
Figura 8: Caracterización del Fosfato.....	33
Figura 9: Caracterización del Nitrato.....	34
Figura 10: Caracterización del OD.....	35
Figura 11: Caracterización de la DQO.....	36
Figura 12: Caracterización de la DBO ₅	37
Figura 13: Eficiencia de remoción de la DBO ₅	41
Figura 14: Eficiencia de remoción de la DQO.....	42
Figura 15: Eficiencia de remoción de STD.....	43
Figura 16: Eficiencia de remoción de OD.....	44
Figura 17: Eficiencia de remoción del Nitrato.....	45
Figura 18: Eficiencia de remoción del Fosfato.....	46
Figura 19: Influencia de la Temperatura.....	47
Figura 20: Influencia de la carga orgánica en afluente (agua residual sin tratamiento).....	48
Figura 21: Influencia en la variación de nutrientes (Nitratos y Fosfatos).....	49
Figura 22: Influencia del TRH en diversos humedales artificiales.....	50
Figura 23: Remoción de la DBO ₅ en diversos proyectos de investigación.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de parámetros químicos en efluentes de mataderos bovinos.....	8
Tabla 2: Descargas específicas en los efluentes de mataderos.....	8
Tabla 3: Fórmulas aplicadas para el lecho fluidizado y macrofita flotante.....	20
Tabla 4: Fórmulas aplicadas para el flujo ascendente.....	21
Tabla 5: Equipos para la caracterización de parámetros fisicoquímicos.....	25
Tabla 6: Resultados del dimensionamiento para el humedal artificial.....	27
Tabla 7: Comparación del efluente final con los VMA.....	38
Tabla 8: Eficiencia de tratamiento del humedal artificial.....	40
Tabla 9: Contrastación del efluente en los valores máximos admisibles (VMA).....	50
Tabla 10: Parámetros que reducen en porcentajes a la materia orgánica.....	52
Tabla 11: Prueba t para dos muestras respecto a la DBO_5	52
Tabla 12: Prueba t para dos muestras respecto a la DQO.....	53
Tabla 13: Caracterización de parámetros fisicoquímicos de la fecha 04/10/17.....	72
Tabla 14: Caracterización de parámetros fisicoquímicos de la fecha 02/11/17.....	72
Tabla 15: Caracterización de parámetros fisicoquímicos de la fecha 04/12/17.....	73
Tabla 16: Caracterización de parámetros fisicoquímicos de la fecha 15/12/17.....	73
Tabla 17: Caracterización de parámetros fisicoquímicos de la fecha 29/12/17.....	74

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el matadero municipal de la ciudad de Moyobamba, aplicando humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofitas flotantes para el tratamiento de aguas residuales. El humedal artificial tiene un diseño característico de forma cilíndrica, basándose en un caudal de 100 L/día, con dimensiones de 1,15 m de altura, 0,86 m² de área superficial y 0,97 m³ de volumen. La caracterización del agua residual se realizó por un periodo de 4 meses, obteniéndose una máxima eficiencia de tratamiento a los 63 días de funcionamiento, teniendo resultados por debajo de los límites establecidos a los parámetros DBO₅ de 12,5 mgO₂/L, DQO de 96,5 mgO₂/L, Sólidos totales disueltos de 725,0 ppm y Nitratos de 1,0 ppm, incremento de los parámetros Oxígeno Disuelto de 0,1 a 4,0 ppm, temperatura de 27,9 °C a 28,1 °C, Fosfatos de 0,6 a 13,0 ppm y el Potencial de hidrógeno de 7,3 a 7,4 unidades de pH; alcanzando una eficiencia de remoción del 98,7% en DBO₅, 97,6% en DQO, 58,6% en Sólidos totales disueltos y 23,1% en Nitratos; siendo el tiempo de retención hidráulica el factor externo más influyente del proceso de tratamiento. Finalmente se afirma que la evaluación del humedal artificial si contribuye significativamente en la remoción de aguas residuales demostrando su veracidad con los valores máximos admisibles (VMA) para vertimiento de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Palabras claves: Humedal artificial, eficiencia de remoción, VMA, DBO₅.

ABSTRACT

The present research work was carried out in the municipal slaughterhouse of the city of Moyobamba, applying artificial wetland of ascending fluidized bed with floating macrofitas for the treatment of residual waters. The artificial wetland has a characteristic cylindrical design, based on a flow rate of 100 L/day, with dimensions of 1,15 m in height, 0,86 m² in surface area and 0,97 m³ in volume. The residual water characterization was carried out for a period of 4 months, obtaining a maximum efficiency of treatment after 63 days of operation, with results below the limits established for the parameters BOD₅ of 12,5 mgO₂/L, COD of 96,5 mgO₂/L, Total Dissolved Solids of 725,0 ppm and Nitrates of 1,0 ppm; Increase of the parameters Dissolved Oxygen of 0,1 to 4,0 ppm, Temperature of 27,9 °C to 28,1 °C, Phosphates of 0,6 to 13,0 ppm and Hydrogen Potential of 7,3 to 7,4 pH units; achieving a removal efficiency of 98,7% in BOD₅, 97,6% in COD, 58,6% in dissolved total solids and 23,1% in nitrates; the hydraulic retention time being the most influential external factor of the treatment process. Finally, it is affirmed that the evaluation of the artificial wetland if it contributes significantly in the removal of residual waters demonstrating its veracity with the maximum admissible values (VMA) for discharge of non-domestic wastewater in the sanitary sewer system.

Keywords: Artificial wetland, removal efficiency, VMA, BOD₅.



INTRODUCCIÓN

La industria del camal está asociada a una alta carga de materia orgánica debido al contacto directo del agua con los materiales crudos durante los varios procesos de faenamiento, cantidades significantes de material orgánico e inorgánico en forma soluble, coloidal o particulado es descargado en las aguas residuales (Barraza & Palpa, 2011).

La ciudad de Moyobamba no es ajena a este problema, ya que las aguas residuales producidas en el matadero municipal como procesos del faenado de ganado vacuno y porcino, son vertidas directamente a un flujo de agua ubicada en la parte posterior del local, sin recibir un tratamiento preliminar, ocasionando así cambios en sus características físicas, químicas y biológicas y como consecuencia alterando la calidad del flujo de agua. Así mismo en la parte posterior del matadero, en donde se realiza la desembocadura del efluente existe la presencia de vectores, como son los gallinazos, roedores, garzas, entre otros animales, los cuales se convierten en un problema de salud pública (Panduro, 2017).

Frente al contexto situacional del vertimiento de las aguas residuales y mediante la aplicación de un sistema de tratamiento biológico planteamos la siguiente interrogante:

¿El humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante, contribuirá significativamente en la remoción de las aguas residuales provenientes del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba?

El objetivo principal de esta investigación es evaluar el humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante, en la remoción de aguas residuales del matadero municipal en la ciudad de Moyobamba 2017; teniendo como objetivos específicos diseñar el humedal artificial como sistema de tratamiento aplicando el lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante (*Eichhornia crassipes spp*), caracterizar los parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, sólidos totales disueltos, fosfato, nitrato, oxígeno disuelto, DQO y DBO₅) y comparar el efluente final con los valores máximos admisibles (VMA), determinar la remoción del agua residual mediante la eficiencia del sistema de tratamiento y por último determinar la influencia de factores externos en el sistema de tratamiento.

La variable dependiente es la remoción del agua residual y la variable independiente es el humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofitas flotantes.

La hipótesis nula (H_0) planteada es mediante el humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante, no se contribuye significativamente en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba; siendo la hipótesis alternativa (H_1) mediante el humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante, se contribuye significativamente en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba.

La importancia del presente estudio de investigación radica en una alternativa para el tratamiento de aguas residuales no domésticas, siendo el humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofitas flotante un tratamiento económico y práctico por la capacidad de biodegradar los compuestos contaminantes a intermediarios sencillos, obteniéndose factibilidad, facilidad de operación y la alta eficiencia en la remoción, de al menos los principales contaminantes.

Las limitaciones del presente estudio se concentraron en la captación del agua residual, debido a que el caudal del efluente de esta industria cambia bruscamente en un periodo corto, por lo que se planteó utilizar un colador de plástico para la retención de los sólidos gruesos existentes en el crudo recolectado, como también la constante remoción de la muestra almacenada para evitar la sedimentación en el fondo del tanque regulador de caudal, obteniendo finalmente una muestra más homogénea.

En el Primer Capítulo se señalan las revisiones bibliográficas necesarios para una mejor comprensión de los antecedentes de la investigación, la problemática ambiental que originan las aguas residuales provenientes de camales o mataderos, tipos de tratamientos convencionales y no convencionales, propiedades y características morfológicas de la planta acuática, finalizando en las normativas vigentes que rigen límites o valores máximos de efluentes para su posterior vertimiento del agua residual.

En el Segundo Capítulo se ha considerado los materiales y metodología de la investigación donde se justifica la parte más importante del experimento realizado resumiéndose en

caracterizaciones de los parámetros fisicoquímicos, dimensionamiento, diseño y construcción del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofitas flotantes.

En el Tercer Capítulo se detallan la interpretación y discusión de los resultados por cada objetivo del presente estudio, teniendo una amplia gama de tablas y figuras para su mejor entendimiento, donde finalmente se señalan las conclusiones y recomendaciones necesarias del presente estudio ejecutado.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

1.1.1. Internacional

Casasola (2012) en su trabajo de investigación “*Cuantificación de nutrientes (calcio, cobre, fósforo, hierro, magnesio, nitrógeno, potasio, sulfato, zinc) y determinación de contaminantes (arsénico, mercurio, plomo, cadmio) en el Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) del lago de Amatitlán para uso en abono orgánico*”. (Guatemala); concluyó que los tallos/hojas del jacinto de agua (*E. crassipes*) del lago de Amatitlán pueden ser utilizados en abono orgánico aplicable a suelos alcalinos o con alta capacidad de intercambio catiónico debido a la presencia de ciertos contaminantes (Cd, Hg, Pb) y por su contenido de nutrientes (Ca, Cu, P, Fe, Mg, Mn, N, K, SO_4^{2-} , Zn).

Artero y Quiusque (2012) en su trabajo de investigación “*Desarrollo de un microhumedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario*”. (El Salvador); concluyeron que el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario mediante el uso de microhumedales es altamente eficiente debido a que el DBO_5 que es un parámetro de calidad del agua, disminuyendo a una DBO_5 de 2 310,0 mg/L, a un DBO_5 de 5 mg/L, en el microhumedal No.1 (con planta de tule) y un DBO_5 de 7 mg /L en el microhumedal No.2 (jacinto de agua).

García y Leal (2008) en su trabajo de investigación “*Desarrollo de un humedal artificial piloto con especies no convencionales para mitigar la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales provenientes del centro de visitantes del parque nacional natural Amacayacu – Amazonas*.(Colombia); concluyeron que el desarrollo del humedal artificial con plantas flotantes, alcanzaron finalmente una eficiencia en remoción del 63% en DBO_5 con posibilidades de presentarse valores superiores, siempre y cuando se sigan las indicaciones de manejo del humedal propuestas.

1.1.2. Nacional

García (2012) en su trabajo de investigación “*Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*”. (Lima); concluyó en que la especie más eficiente en la capacidad de depuración de nutrientes fue la *Eichhornia crassipes* siendo capaz de remover un 100% en nitrógeno amoniacal, mientras la *Lemma minor* presentó remociones del 86% de este parámetro. Sin embargo en el parámetro del fósforo total, la capacidad de depuración fue casi similar en un 52% y *Lemma minor*, debido al número de parámetros removidos.

Baquerizo y Flores (2011) en su trabajo de investigación “*Comportamiento de un sistema anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales de un matadero*” (Lima); concluyó que para el parámetro de DBO₅, los reactores con altura inicial de lodo de 42cm (R1 y R2), tuvieron una máxima remoción de 41,32% y una remoción promedio igual a 22,34%, mientras que los reactores con altura de lodo de 28cm (R3 y R4) obtuvieron una máxima remoción de 52,58% y una remoción promedio igual a 20,82%.

Barraza y Palpa (2011) en su trabajo de investigación “*Comparación de eficiencias en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un camal utilizando en forma independiente reactores UASB y filtros contenedores a escala piloto*”. (Lima); concluyeron que en relación a los reactores, la mínima remoción de DQO para el reactor N°1 se da en el día 1 de la investigación y tiene un valor de 24,51% para una dilución del 25%, y la máxima remoción de DQO se da en el día 93 y tiene un valor de 89,23% para una dilución del 50%.

1.1.3. Local

Montalván y López (2017) en su trabajo de investigación “*Eficiencia del humedal artificial con Cyperus papyrus y Typha angustifolia en la depuración de aguas residuales domésticas Habana - 2015*” (Moyobamba); concluye que los humedales artificiales de *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora) al tercer mes de caracterizadas obtuvieron una eficiencia de remoción en: Coliformes termotolerantes de 82,54%, sólidos totales en suspensión de

90,47%, DQO de 64,98% y DBO₅ de 66,96%, en resumen se puede decir que alcanzó una eficiencia del 64% al 90% en todos sus parámetros caracterizados.

Panduro (2017) en su trabajo de investigación “*Tratamiento integral de las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba en un Biorreactor anaeróbico tipo UASB a nivel piloto*”. (Moyobamba); concluyó que mediante el sistema de UASB empleado para el tratamiento de aguas residuales se registraron resultados satisfactorios en remoción de carga contaminante, presentándose eficiencias en remoción eficiente de la carga orgánica expresada como DBO₅ del 73,91%. Con un promedio de 497,03mgO₂/L DBO₅ en el efluente.

Flores (2014) en su trabajo de investigación “*Aplicación de humedal artificial con macrofitas flotantes en la recuperación de las aguas residuales domésticas, Moyobamba – San Martín*”. (Moyobamba); concluyó que en su trabajo de investigación durante la etapa de caracterización fisicoquímica y microbiología del agua residual proveniente de la Urb. Las Flores, la temperatura oscila entre 21 y 23°C el cual hace propicio el crecimiento de la *Eichhornia crassipes*, el DBO₅ de salida llega a bajar hasta 25 mg/L.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. La industria del camal o mataderos.

El matadero constituye una parte importante dentro de la cadena productiva de bovinos y porcinos, mediante el cual se obtiene carnes y subproductos. La finalidad de un matadero es producir carne preparada de manera higiénica mediante la manipulación humana de los animales en lo que respecta al empleo de técnicas higiénicas para el sacrificio de los animales, la preparación de carcasas mediante una división estricta de operaciones y al mismo tiempo facilitando la inspección adecuada de la carne y el manejo apropiado de los desechos resultantes, para eliminar todo peligro potencial de que carne infestada pueda llegar al público o contaminar al medio ambiente (Centro de promoción de tecnologías sostenibles, 2009).

1.2.2. Problemas ambientales originados por la industria del camal o matadero.

Los principales problemas ambientales que enfrentan los mataderos son:

- Contaminación hídrica con contenido rumial, sangre y materia orgánica, con pocas excepciones los mataderos no cuentan con sistemas de tratamiento.
- Contaminación atmosférica, causada por la descomposición de la materia orgánica, la misma que origina malos olores.
- Emisión de gases de efecto invernadero, debido al uso ineficiente de energía.
- Los límites para descarga líquida (DBO y DQO) de la legislación ambiental no se pueden alcanzar debido a que algunos mataderos han implementado sistemas de tratamiento de efluentes rudimentarios que son insuficientes para disminuir la carga orgánica, y otros mataderos directamente no han implementado ningún sistema (Centro de promoción de tecnologías sostenibles, 2009).

Estos problemas originados en las actividades propias del faeno se complican aún más por la falta de infraestructura de servicios tales como la ausencia de rellenos sanitarios especialmente preparados para la disposición de residuos sólidos, por la contaminación de suelos y acuíferos en algunas zonas por la falta de sistemas de alcantarillado, por tanto, los efluentes son vertidos al suelo y/o cuerpos de agua (Centro de promoción de tecnologías sostenibles, 2009).

1.2.3. Parámetros de importancia del sector cárnico.

Las descargas específicas son indicadores útiles para analizar el desempeño ambiental porque permiten conocer la relación que existe entre la cantidad producida y la cantidad de descargas contaminantes de la empresa. Algunos parámetros comúnmente medidos como descargas específicas son DBO₅, DQO, nitrógeno, fosforo, aceites y grasas (Centro de promoción de tecnologías sostenibles, 2009).

1.2.4. Características del agua residual provenientes de un camal o matadero.

Las principales descargas líquidas de un matadero son la sangre y las aguas residuales de lavado de todas las operaciones (Centro de promoción de tecnologías sostenibles, 2009).

Al igual que en los residuos sólidos, la calidad y cantidad de residuos líquidos generados depende de la tecnología disponible y de los procedimientos empleados en el faeno y tratamiento de efluentes, que son distintos en cada matadero. Los mataderos de los grupo I y II, por ejemplo, tienen rejillas en los drenajes de los pisos para retener sólidos y evitar que estos formen parte de las descargas líquidas, esto no ocurre en los mataderos de los grupos III y IV. La concentración de algunos parámetros químicos de interés en efluentes de mataderos en los que el centro de promoción de tecnologías sostenibles realizó son la presentada en la siguiente tabla:

Tabla 1

Valores de parámetros químicos en efluentes de mataderos bovinos.

Parámetro	Matadero A	Matadero B	Matadero C	Matadero D	Límites permisibles para descargas líquidas.
Aceites y grasas (mg/L)	4 100,0	565,0	353,0	42,0	10,0
DBO ₅ (mg/l)	5 100,0	1 910,0	1 880,0	2 000,0	80,0
DQO (mg/L)	18 407,0	6 700,0	2 600,0	1 900,0	250,0

Nota: DPML efectuados por el centro de promoción de tecnologías sostenibles en mataderos.

Las descargas específicas por tonelada de peso vivo de animal para los mataderos son la mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 2

Descargas específicas en los efluentes de mataderos.

Consumo	Matadero A	Matadero B	Matadero C	Matadero D
DBO ₅ (Kg/ tn peso vivo).	13,0	16,2	12,8	6,8

Sólidos suspendidos	18,0	12,1	20,9	1,4
(Kg/ tn peso vivo).				

Nota: DPML efectuados por el centro de promoción de tecnologías sostenibles en mataderos.

1.2.5. Tratamiento de las aguas residuales.

El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará (Adalberto & Sagastume, 2013).

a) Niveles de tratamiento dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Son niveles de tratamiento para un agua residual dependiendo del uso o disposición final que se le quiera dar al agua tratada, lo que puede estar determinado por alguna normatividad (Adalberto & Sagastume, 2013).

A continuación mediante el decreto supremo N° 011-2006-VIVIENDA [DSV] (2006), aprueba la norma Obras de Saneamiento 090, donde detallan los sistemas y unidades de tratamiento:

a1). Tratamiento preliminar

Se refiere a la eliminación de aquellos componentes que puedan provocar problemas operacionales y de mantenimiento en el proceso de tratamiento o en los sistemas auxiliares. Ejemplo de ello, es la eliminación de componentes de gran y mediano volumen como ramas, piedras, animales muertos, plásticos, o bien problemáticos, como arenas, grasas y aceites (Adalberto & Sagastume, 2013).

a2). Tratamiento primario.

El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga en el tratamiento biológico. Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final. Los procesos del

tratamiento primario para las aguas residuales pueden ser: tanques Imhoff, tanques de sedimentación y tanques de flotación (DSV, 2006).

En este nivel de tratamiento, una porción de sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual utilizando la fuerza de gravedad como principio. Las cifras de remoción comúnmente alcanzadas en aguas residuales municipales son del 60% en sólidos suspendidos y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Esta remoción generalmente se lleva a cabo por sedimentación y es considerada como la antesala para el tratamiento secundario (Adalberto & Sagastume, 2013).

a3). Tratamiento secundario

En esta etapa de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción (Adalberto & Sagastume, 2013).

Para efectos de la presente norma de diseño se considerarán como tratamiento secundario los procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor a 80%, pudiendo ser de biomasa en suspensión o biomasa adherida, e incluye los siguientes sistemas: lagunas de estabilización, lodos activados (incluidas las zanjas de oxidación y otras variantes), filtros biológicos, filtros percoladores, sistemas biológicos rotativos de contacto, otros tipos de tratamiento (filtros intermitentes de arena, tratamientos anaerobios de flujo ascendente) (DSV, 2006).

- Tratamientos anaerobios de flujo ascendente.

Son unidades que resulta de una modificación del proceso de contacto anaerobio desarrollado hacía varias décadas y consiste en un reactor en el cual el efluente es introducido a través de un sistema de distribución localizado en el fondo y que fluye hacia

arriba atravesando un medio de contacto anaerobio. Existen básicamente diversos tipos de reactores los más usuales son:

- El de lecho fluidizado, en el cual el medio de contacto es un material granular (normalmente arena).
- El reactor de flujo ascendente con manto de lodos (conocido como RAFA o UASB por las siglas en ingles) en el cual el desecho fluye en forma ascendente (DSV, 2006).

a4). Tratamiento terciario

Este tipo de tratamiento se refiere a todo tratamiento hecho después del tratamiento secundario con el fin de eliminar compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica remanente no biodegradable (Adalberto & Sagastume, 2013).

b) Sistema natural construido tipo “Wetland”.

Un humedal artificial conocido como “wetland” por su denominación en inglés, es un filtro de materiales granulares (grava por lo común) en donde se desarrolla un sistema de raíces de plantas. Estas plantas aportan el oxígeno atmosférico captado por las hojas a las raíces y rizomas, por lo que el agua residual es trata aeróbicamente por los microorganismos presentes en la rizósfera, y anaeróbicamente por aquellos organismos que se encuentran entre los intersticios del medio granular circundante. Las mayores ventajas sobre otros procesos son su bajo costo de operación, su fácil instalación y mantenimiento, además de producir un efluente de buena calidad con una DBO₅ promedio de 25 mg /L (Adalberto & Sagastume, 2013).

b1). Humedal artificial

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas

interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente (Delgadillo *et al*, 2010).

- Clasificación de los humedales artificiales

Los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres. Considerando la forma de vida de estas macrófitas, los humedales artificiales pueden ser clasificados en:

- Sistemas de tratamiento basados en macrofitas de hojas flotantes: Principalmente angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos. El Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna Sp.*) son las especies más utilizadas para este sistema.
- Sistemas de tratamiento basados en macrofitas sumergidas: Comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carófitas y muchas angiospermas.
- Sistemas de tratamiento basados en macrofitas enraizadas emergentes: En suelos anegados permanente o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos (Delgadillo *et al*, 2010).

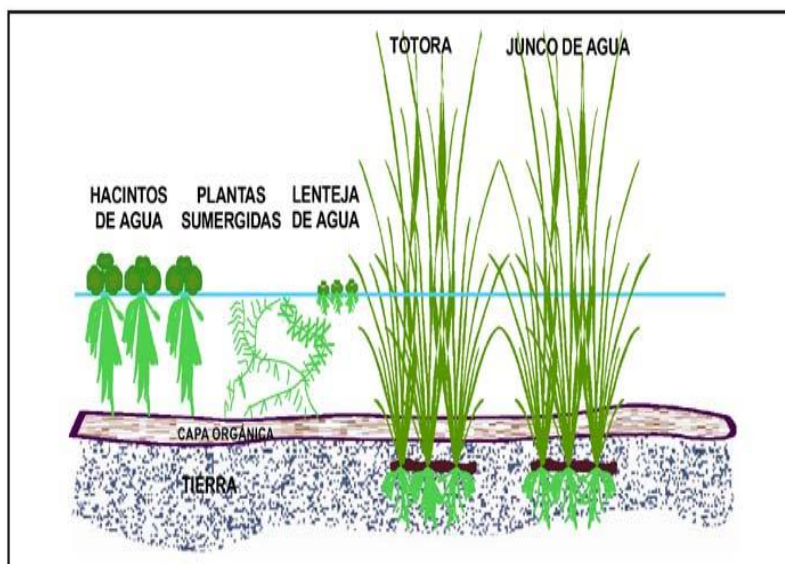


Figura 1: Plantas acuáticas utilizadas en humedales artificiales.

Los humedales basados en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos, de acuerdo a la circulación del agua que se emplee: 1) humedales de flujo superficial, si el agua circula en forma superficial por entre los tallos de las macrófitas y 2) humedales de flujo subsuperficial, si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal, pueden ser de dos tipos: (a) en función de la forma de aplicación de agua al sistema: humedales de flujo subsuperficial horizontal y (b) humedales de flujo subsuperficial vertical. (Delgadillo *et al*, 2010).

- Mecanismos en la remoción de contaminantes.

En un humedal artificial se desarrollan diferentes mecanismos en la remoción de contaminantes del agua residual. Evidentemente, un amplio rango de procesos biológicos, químicos y físicos tiene lugar, por lo tanto la anuencia e interacción de cada componente involucrado es bastante compleja (Delgadillo *et al*, 2010).

Los mecanismos para la remoción de contaminantes que ocurren en los humedales construidos El contenido del texto de Kolb (citado por Delgadillo *et al*, 2010) describe a los siguientes mecanismos:

- Remoción de sólidos suspendidos. Aunque la mayor parte de los sólidos suspendidos y sedimentables son removidos en el tratamiento previo, los humedales filtran y sedimentan los remanentes, complementando esta remoción.
- Remoción de materia orgánica. La remoción de materia orgánica tiene lugar principalmente mediante biodegradación aeróbica o anaeróbica.
- Remoción de nitrógeno. Los principales mecanismos de remoción de nitrógeno en humedales construidos son la nitrificación y la denitrificación, que ocurren en diferentes zonas del sustrato.
- Remoción de fósforo. El fósforo está presente en la alcantarilla en tres distintas formas: como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El consumo de fósforo por la planta puede

ser considerado como insignificante comparado con los efectos de adsorción debido al contenido de óxidos metálicos en el sustrato, la fijación de fósforo como fosfatos por medio de la adsorción varía.

- Remoción de bacterias. Los organismos importantes, desde el punto de vista de la salud pública son las bacterias patógenas y los virus. La remoción de estos microorganismos está basada en una combinación de factores físicos, químicos y biológicos (Delgadillo *et al*, 2010).

- Generalidades de la macrofita flotante jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

El Jacinto de agua es una planta acuática flotante no enraizada, herbácea perenne muy común en ambientes acuáticos de climas tropicales, en donde llega a considerarse como planta invasiva; está catalogada como una de las malas hierbas más dañinas a nivel mundial. Se la considera originaria de la amazonia y actualmente está extendida en prácticamente todas las zonas tropicales acuáticas del planeta. Se distingue muy fácilmente de otras plantas flotantes por poseer hojas relucientes con peciolo hinchados y vistosas flores azuladas-lilas (Fernández *et al*, 2004).

- Morfología.

La parte aérea vegetativa de *Eichhcorhia crassipes* forma una especie de roseta que sobresale parcialmente sobre la lámina de agua; generalmente alcanza unos 50 cm de altura, aunque en algunas zonas muy adecuadas para la especie (sureste de Asia) puede llegar a 1 m de alto. La hoja es muy característica, el peciolo tiene apariencia de estar hinchado, es de consistencia esponjosa a razón de que contiene gran espacio aéreo, a fin de contribuir a la flotabilidad de la planta; el limbo es coriáceo, oval-redondeado, erecto, de dimensiones aproximadas 8 x 10 cm, glabro, y de color verde brillante (Fernández *et al*, 2004).

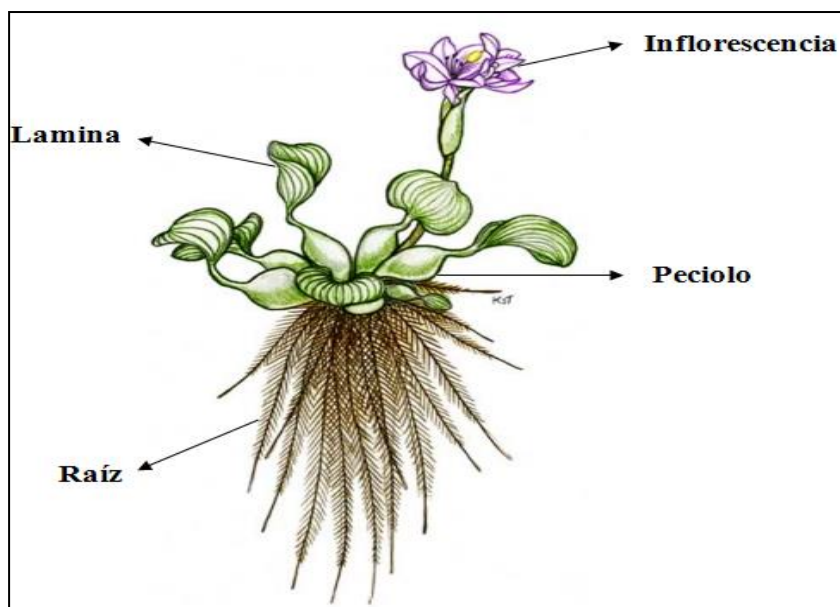


Figura 2: Morfología de *Eichhornia crassipes* spp.

- **Acción depuradora**

El Jacinto de agua se utiliza en sistemas acuáticos de tratamiento de aguas residuales domesticas de climas cálidos, siendo el principal parámetro de diseño la carga orgánica (Fernández *et al*, 2004).

1.2.6. Legislación vigente relacionada al vertido de aguas residuales.

- **Decreto supremo N° 004-2017-MINAM.**

Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para el agua y establecen disposiciones complementarias, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no presenta riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

- **Decreto supremo N°003-2010-MINAM.**

Aprueba Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permisible - LMP,

como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente.

- **Decreto supremo N° 021-2009-VIVIENDA.**

Aprueban valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, el reglamento establece como derecho de las EPS suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes industriales que se vierten en él, no cumplan con los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad vigente, quedando la EPS facultada para cobrar por los gastos incurridos en la suspensión y reposición de dicho servicio.

1.3. Definición de términos básicos

Agua residual industrial (ARI): Son las que proceden de cualquier actividad industrial cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice agua (los mataderos son industrias con efluentes principalmente orgánicos).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Indicador empleado para medir el grado de contaminación orgánica que puede ser oxidada por acción de microorganismos en medio aeróbico.

Eficiencia del tratamiento: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje.

Eutrofización: Es un proceso que ocurre en los cuerpos de agua donde se produce enriquecimiento con nutrientes, lo que conlleva a un incremento de algas y macrofitas, provocando un deterioro de la calidad del agua e interfiriendo con el uso de la misma.

Humedal artificial: Sistema de fitodepuración del agua residual.

Lecho fluidizado: Son lechos bacterianos de contacto (sinónimo de “filtro biológico” o “filtro percolador”).

Macrofitas flotantes: Son plantas superiores, algas, musgos o briofitas macroscópicas, adaptadas a la vida en el medio acuático. Son importantes componentes ecológicos de los sistemas acuáticos al ser productoras primarias que proveen hábitat para invertebrados.

Matadero municipal: Es un camal o establecimiento destinado al beneficio del ganado (vacuno y ovino) para consumo humano y donde se realiza la clasificación, por el médico veterinario de la carne (extra, primera, segunda).

Remoción de agua residual: Purificación o depuración de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento líquido.

SENAMHI: Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú.

VMA: Valores máximos admisibles.

CAPITULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material.

2.1.1. Materiales para el diseño del humedal artificial.

- Malla arpillera al 50% color verde para el cerco perimétrico.
- Arena gruesa para el lecho fluidizado.
- Piedra chancada de 1" y ½" para el lecho fluidizado.
- Tanque de 1000 L para el dimensionamiento del humedal artificial.
- Tanque de 150 L para la alimentación diaria del humedal artificial.
- Balde de 20 L para la captación de aguas residuales.
- Grifos para el punto de muestreo de aguas residuales.
- Malla metálica gruesa para el soporte del lecho fluidizado.
- Tubería de 4" de diámetro para la conducción del flujo del agua residual.
- Selección de las macrofitas flotantes (*Eichhornia Crassipes Spp*).

2.1.2. Materiales para la caracterización de parámetros fisicoquímicos y comparación del efluente final con los VMA.

- Termómetro, modelo HI98301 DiST[®]1.
- Peachimetro, modelo HACH IP67, certificación IECS-003.
- DR 900 Multiparámetros, modelo HACH IP67, certificación IECS-003.
- Medidor de STD, modelo HI98301 DiST[®]1, TDS Tester.
- Medidor de OD, modelo HANNA HI98193.
- Semillas y nutrientes HACH para determinar DBO₅, Buffer pillows de 0,5 mL para 300 mL.
- Tiosulfato para determinar DQO, reactivo de solución estándar marca HACH.
- Reactivos de fosfato y nitratos, reactivo de solución estándar marca HACH
- Tabla de valores máximos admisibles (elemento abstracto).

2.1.3. Materiales para la determinación de la remoción del agua residual.

- Tabla y fórmula para eficiencia de remoción (elemento abstracto).

2.1.4. Materiales para la determinación de factores externos en el sistema de tratamiento.

- Figuras y tablas (elemento abstracto).

2.2. Método.

2.2.1. Tipo y nivel de la investigación

Tipo de investigación : Investigación aplicada.

Nivel de investigación : Explicativa

2.2.2. Diseño de investigación

La presente tesis de investigación es un diseño experimental.

Para la contrastación de la hipótesis mencionada se utilizó el diseño de pre-prueba y post-prueba con un solo grupo, en la cual el sistema de tratamiento propuesto (humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofitas flotantes) realizó el proceso de remoción o depuración del agua residual aplicando la pre-prueba (entrada del humedal artificial) y la post-prueba (salida del humedal artificial) tal y como se detalla a continuación:

G.E: O ₁ X ₁ O ₂

Donde:

G.E: Grupo experimental

O₁: Afluente del agua residual.

X₁: Humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofitas flotantes.

O₂: Efluente del agua residual.

2.2.3. Población y muestra.

Población : Está comprendida por un caudal de 100 L/día.

Muestra : 0,5 L de agua residual por cada punto de muestreo, siendo 27 muestreos puntuales haciendo 13,5 L de agua residual total.

2.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

a) Técnicas de recolección de fuentes primarias.

a1) Ficha técnica para recolección de datos.

La ficha técnica consistió como herramienta para el llenado de los resultados obtenidos en las caracterizaciones de los parámetros fisicoquímicos (Ver Anexo M – Ficha técnica de recolección de datos y Anexo N – Ficha técnica de la eficiencia de tratamiento mensual).

a2) Dimensionamiento del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante.

El presente dimensionamiento se desarrolló a partir de la creatividad en la unión de cálculos matemáticos establecidos por un humedal artificial y del reactor UASB, la secuencia y procedimientos de cálculos para el dimensionamiento fueron de la siguiente manera:

➤ **Caracterización preliminar de la DBO₅.**

Se realizó la caracterización preliminar de 03 muestras compuestas de la DBO₅, con la finalidad de realizar el dimensionamiento correspondiente del humedal artificial.

➤ **Cálculo matemático para el dimensionamiento del humedal artificial.**

• Dimensionamiento del lecho fluidizado y macrofita flotante.

Se tomó como ejemplo las formulas aplicadas de Delgadillo *et al* (citado por Flores, 2014), sobre la depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 3

Fórmulas aplicadas para el lecho fluidizado y macrofita flotante.

Cálculo matemático para el lecho fluidizado y macrofita flotante

1. Definición de parámetros de diseño

Caudal (Q)	=	m ³ /día
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	=	mg/L
Temperatura (T)	=	°C

2. La constantes de reacción de primer orden:

$$KT = 1,104 * (1,60)^{T2-20}$$

3. Porosidad del medio granular (n) = %

4. La profundidad (h). = m

5. Cálculo del área superficial = m²

$$As = Q * (LN DBOa - LN DBOe) / (KT * h * n)$$

6. Cálculo del tiempo de retención hidráulica (THR) = día

$$TRH = (As * h * n) / Q$$

7. Volumen del tanque (V_T) = m³

$$V = As * h$$

Nota: Flores, M. (2014). Aplicación de humedal artificial con macrofitas flotantes en la recuperación de las aguas residuales domésticas, Moyobamba – San Martín, p. 46.

- Dimensionamiento para el flujo ascendente.

Se tomó como ejemplo las formulas aplicadas de Panduro (2017), sobre tratamiento integral de aguas residuales por medio de reactor UASB, con la finalidad de poder separar los gases y acumulación de natas que presentan este tipo de agua residual, como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 4

Fórmulas aplicadas para el flujo ascendente.

Cálculo matemático para el flujo ascendente

1. definición de los parámetros de diseño

a) Diámetro del tanque = cm

b) Caudal de diseño (Q) = mL/min

c) Tiempo de retención hidráulica (TRH) = día

d) Cálculo del volumen del biorreactor (V_R) = m³

$$V_R = TRH * Q$$

e) Cálculo del área del biorreactor (A_R) = cm²

f) Cálculo de la altura efectiva del
biorreactor (L) = cm

$$L = (4 * V_R) / (\pi * D^2)$$

g) Cálculo de la carga hidráulica (CH) = m/h

$$CH = Q/A_R$$

2. Cálculo de la velocidad de flujo (VF)

$$VF = 4 * CH = m/h$$

3. Cálculo para la campana separadora de Gas-Sólido-Líquido (GSL)

a) Cálculo del área de abertura ($A_{ABERTURA}$) = cm²

b) Cálculo del área de la sección transversal = cm²
de la campana ($A_{CAMPANA}$)

$$A_{CAMPANA} = A_R - A_{ABERTURA} = \pi R_{CAMPANA}^2$$

c) Cálculo del ancho de la abertura entre la = cm
campana y el biorreactor (WA)

$$WA = RR - RC$$

d) Cálculo de la abertura del separador = cm
(WG)

$$WG = RR - WA - 0.50 * HT$$

e) Cálculo de la altura de la campana (HG) = cm

$$HG = WG * TG 13^\circ$$

f) Cálculo de la altura de traslapo (TV) = cm

$$TV = 1,50 * WA$$

g) Cálculo del ancho de los deflectores = cm
(WD)

$$WD = TV + WA$$

Nota: Panduro, R. (2017). Tratamiento integral de las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba en un Biorreactor anaeróbico tipo UASB a nivel piloto, p. 47.

a3) Diseño del humedal artificial.

Una vez realizado el cálculo estructural del humedal artificial, se realizó el dibujo en el programa AutoCAD, este se hizo con el propósito de tener una visión más clara al momento de la construcción y poder así, cumplir con las especificaciones del diseño siendo:

- Diseño estructural del humedal artificial.

Consistió en insertar los datos obtenidos en el cálculo matemático dentro de la figura, con la finalidad de observar las unidades de medida.

- Diseño hidráulico del humedal artificial.

Consistió en insertar el sentido o flujo tanto del agua como de los gases que se generan dentro del humedal artificial.

a4) Construcción del humedal artificial.

Después de haber realizado el dimensionamiento y diseño del humedal artificial, se construyó el sistema teniendo en cuenta las dimensiones y los procedimientos constructivos que a continuación se detalla:

- Para el inicio del desarrollo de las actividades, se solicitó el permiso correspondiente para poder ejecutar la investigación en las instalaciones del matadero municipal.
- Se realizó limpieza del terreno tanto de la zona de investigación como del área cercana, para tener una mejor accesibilidad al área de trabajo y poder colocar su cerco perimétrico con malla color verde.
- Se procedió a seleccionar el material granular que son arena gruesa, piedra chancada de 1" y ½".
- Se procedió a seleccionar las plantas acuáticas (*Eichhornia crassipes spp*) para la adaptación con el agua residual del camal municipal.
- Se procedió a colocar el material granular dentro del tanque de agua con capacidad de 1000 L, luego la colocación de los deflectores y campana separadora de gases, sólidos y líquidos.
- Se colocó un tanque con capacidad de 150 litros que sirvió como regulador de caudal para el tanque de tratamiento de agua residual.
- Se procedió a llenar el tanque de tratamiento con agua residual y posterior a ello a la siembra de las especies acuáticas.

a5) Puesta en marcha del humedal artificial.

El arranque del humedal artificial inició el día 01 de septiembre del 2017.

b) Técnicas de recolección de fuentes secundarias.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos (DBO_5 , DQO, Sólidos Totales Disueltos, Fosfato, Nitrato y Oxígeno Disuelto) fueron caracterizados en el laboratorio del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca y el laboratorio Ambiental de la Facultad de Ecología, mientras que los parámetros pH y Temperatura fueron caracterizados en campo (In situ).

b1) Toma de muestras (caracterización mensual).

El muestreo fue desarrollado después del arranque del sistema de tratamiento siendo en el mes de setiembre (a los 20 días), octubre (a los 34 y 47 días), noviembre (a los 63 y 82 días) y diciembre (a los 95, 106 y 120 días) del 2017 como se puede apreciar en los Anexos B hasta el Anexo J.

b2) Método de recolección de muestra.

Para el desarrollo de la presente investigación, se aplicó el Método de muestro manual el cual requiere de un mínimo equipos y personal de muestreo.

b3) Método de toma de muestras.

Para el desarrollo de la presente investigación los muestreos de la DBO_5 representan el muestreo puntual o simple, y para el resto de los 07 parámetros representa al muestreo compuesto, ya que se da de forma mensual.

b4) Muestreo y preservación de muestras.

El muestreo se llevó a cabo bajo los procedimientos e indicaciones establecidos por el laboratorio del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca, teniendo en cuenta el enjuague de recipientes, rotulación del envase, acondicionamiento y conservación.

Cabe mencionar que los muestreos de la DBO_5 y DQO fueron analizados en el laboratorio del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca durante los meses de septiembre a noviembre, mientras que el restante de parámetros fueron analizados en los ambiente del laboratorio Ambiental

de la Facultad de Ecología de la UNSM-t durante los meses de septiembre a diciembre.

c) Instrumentos de recolección de datos.

Los instrumentos que se utilizaron para el desarrollo de las caracterizaciones de los parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO, STD, Fosfatos, Nitrato, Oxígeno disuelto) realizados en el laboratorio Ambiental de la Facultad de Ecología y de los parámetros fisicoquímicos (pH y Temperatura) realizadas en campo fueron:

Tabla 5

Equipos para la caracterización de parámetros fisicoquímicos

Nº	Parámetro	Instrumento y/o equipos de medición
1	DBO ₅ (mg/L)	DR 900 Multiparámetro.
2	DQO (mg/L)	DR 900 Multiparámetro.
3	Sólidos totales disueltos (ppm)	Medidor de STD.
4	Fosfato (ppm)	DR 900 Multiparámetros
5	Nitrato (ppm)	DR 900 Multiparámetro.
6	Oxígeno disuelto (ppm)	Medidor de OD.
7	pH (unidad de pH)	Peachimetro.
8	Temperatura (°C)	Termómetro de mercurio.

Nota: Equipos de laboratorio.

2.2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

El procesamiento de datos se llevó aplicando cálculos matemáticos, programas computarizados y análisis estadísticos como se detallan a continuación:

a) Cálculos matemáticos para el dimensionamiento del humedal artificial.

- Cálculo matemático para el lecho fluidizado y macrofitas flotantes.
- Cálculo matemático para el flujo ascendente.

b) Programas de Ingeniería.

- AutoCAD (Programa para el diseño del humedal artificial).
- Excel (Programa de ofimática para los gráficos estadísticos).

c) Análisis estadístico.

- Prueba t de Student (prueba t para dos muestras independientes)

d) Análisis de eficiencia de remoción.

Para el análisis de la eficiencia del humedal artificial se utilizó la siguiente fórmula aplicada por Flores (2014), como se detalla a continuación:

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{\text{concentración}_{\text{entrada}} - \text{concentración}_{\text{salida}}}{\text{concentración}_{\text{entrada}}} \times 100$$

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Diseño del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante (*Eichhornia crassipes spp*).

3.1.1. Dimensionamiento del humedal artificial.

Tabla 6

Resultados del dimensionamiento para el humedal artificial.

Dimensionamiento del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante (*Eichhornia crassipes spp*).

1) Dimensiones del lecho fluidizado	
• Altura de lecho fluidizado	= 0,29 m
• Área de lecho fluidizado	= 0,86 m ²
2) Dimensiones de la macrofita flotante	
• Altura de la macrofita flotante	= 0,36 m
• Área de la macrofita flotante	= 0,82 m ²
3) Dimensiones del flujo ascendente	
• Altura del flujo ascendente	= 0,37 m
• Tiempo de retención hidráulica (TRH)	= 3,2 día
• Cálculo del área del reactor (A _R)	= 0,86 m ²
• Cálculo del volumen del reactor (V _R)	= 0,32 m ³
• Velocidad del flujo ascendente	= 0,02 m/h
• Área de la campana (A _{CAMPANA})	= 1 623,5 cm ²
• Cálculo de la abertura (WA)	= 7,0 cm
4) Dimensiones del tanque para el humedal artificial	
6.1. Altura del tanque (H _{tanque})	= 1,15 m
6.2. Área del tanque (A _{tanque})	= 0,86 m ²
6.3. Ancho o diámetro del tanque	= 1,05 m
6.4. Volumen del tanque (V _{tanque})	= 0,97 m ³
6.5. TRH del tanque	= 6,07 días

Nota: Anexo L – Dimensionamiento del humedal artificial.

El sistema de tratamiento fue diseñado para un caudal de 100,0 L/día, obteniéndose como resultado la construcción de un tanque de forma cilíndrica con dimensiones de 1,15 m de altura, 0,86 m² como área, 0,97 m³ de volumen y finalmente con tiempo de retención hidráulico (TRH) de 6,07 días.

3.1.2. Diseño del humedal artificial.

a) Diseño estructural del humedal artificial.

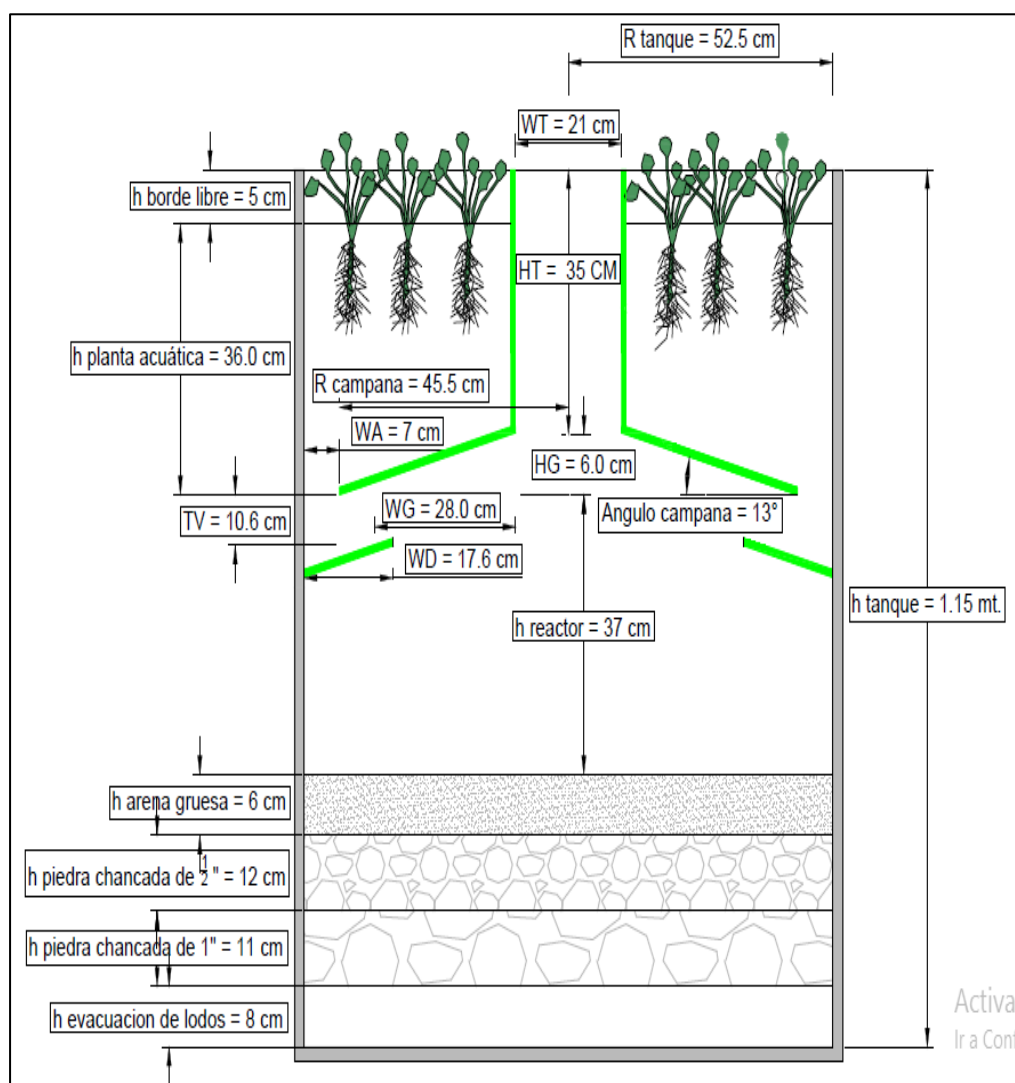


Figura 3: Diseño estructural del humedal artificial.

Los resultados de la figura 3 son demostrados a partir de los procesos matemáticos efectuados para el lecho fluidizado (piedra chancada de 1", piedra chancada de 1/2" y arena gruesa), macrofita flotante y del flujo ascendente, que fueron plasmados como dimensionamiento.

b) Diseño hidráulico del humedal artificial.

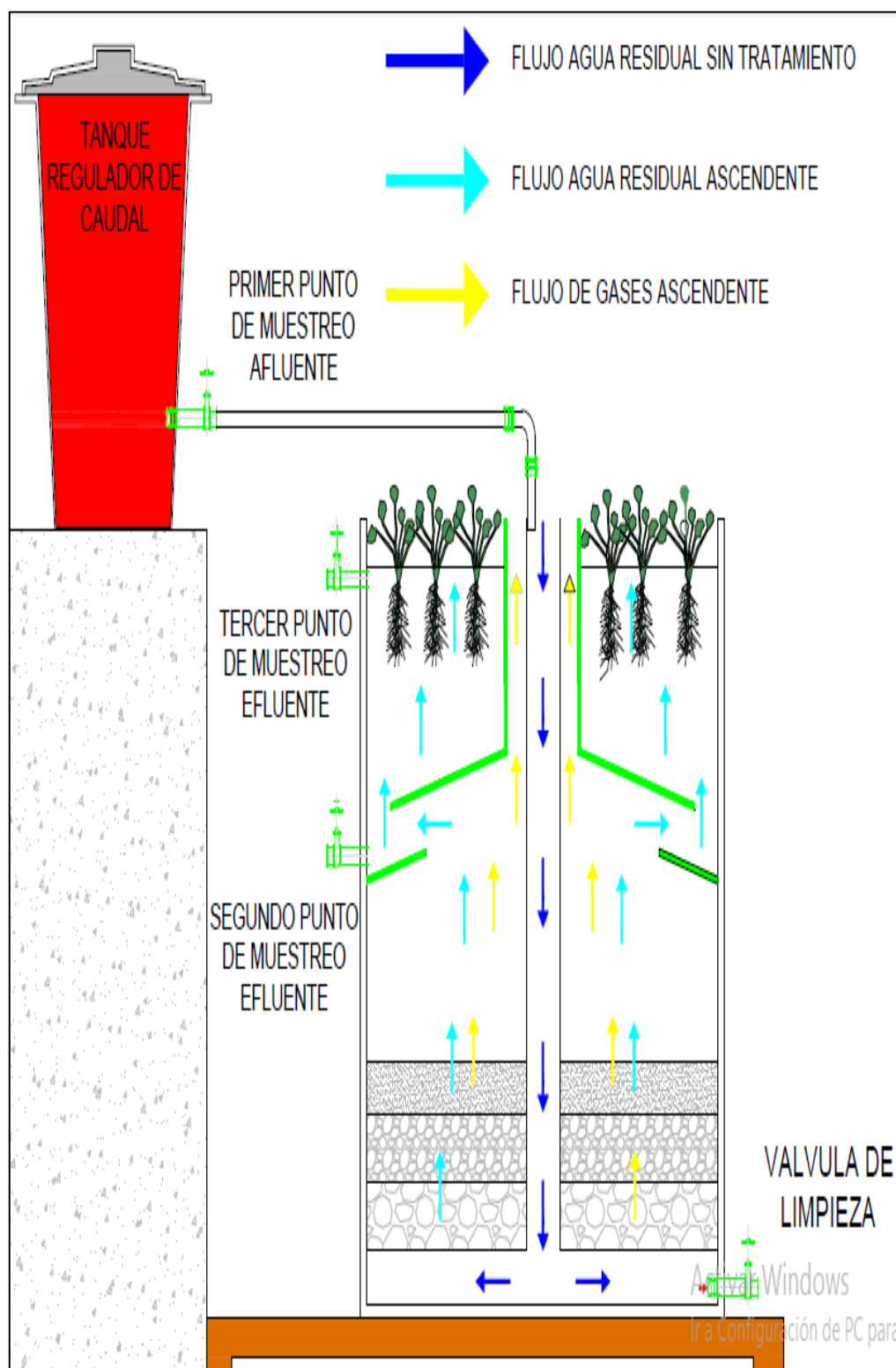


Figura 4: Diseño hidráulico del humedal artificial.

Los resultados de la figura 4 demuestran el sentido o flujo ascendente del agua residual, lográndose identificar el lecho fluidizado (medio filtrante), la campana separadora de gases-sólido-líquido y las macrofitas flotantes.

3.2. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, sólidos totales disueltos, fosfato, nitrato, oxígeno disuelto, DQO y DBO5) y comparación del efluente final con los valores máximos admisibles (VMA).

3.2.1. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos.

a) Caracterización del potencial de hidrógeno (pH).

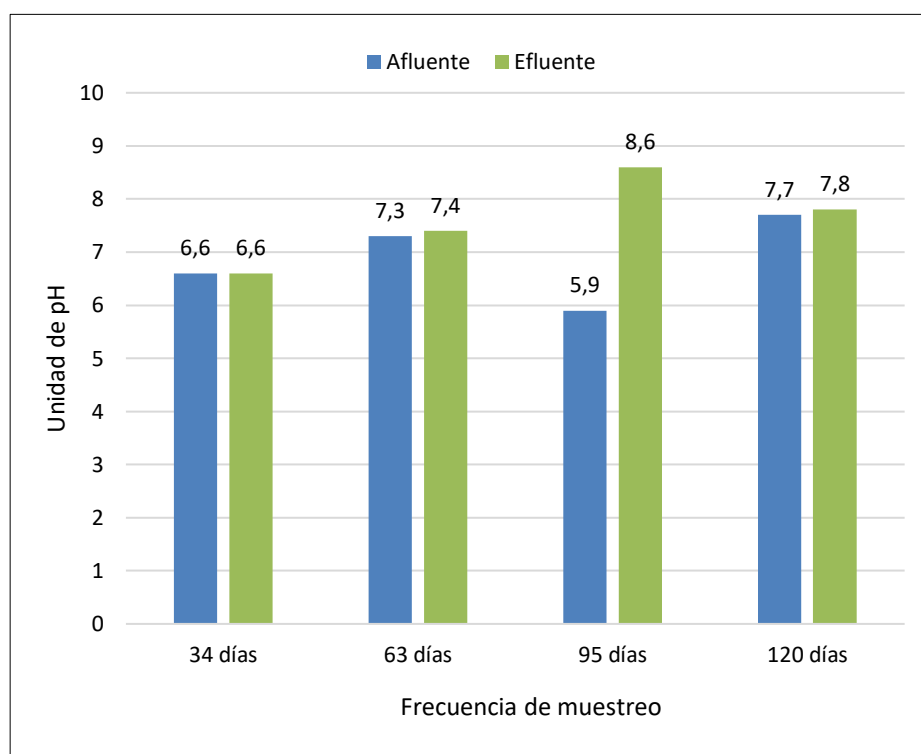


Figura 5: Caracterización del pH.

En la figura 5 se observa los rangos de la concentración registrados del pH durante el pre tratamiento (Barras de color azul), se puede observar que la mayor concentración se registró a los 120 días con una concentración de 7,7 unidades de pH; y la mínima concentración fue registrada a los 95 días con un valor de 5,9 unidades de pH.

En la figura 5 se observa los rangos de la concentración registrados del Potencial de Hidrogeno durante el post tratamiento (Barras de color verde), se observa que la máxima concentración se registró a los 95 días con una concentración de 8,6 unidades de pH; a los 34 días se registró una mínima con un valor de 6,6 unidades de pH.

b) Caracterización de la temperatura.

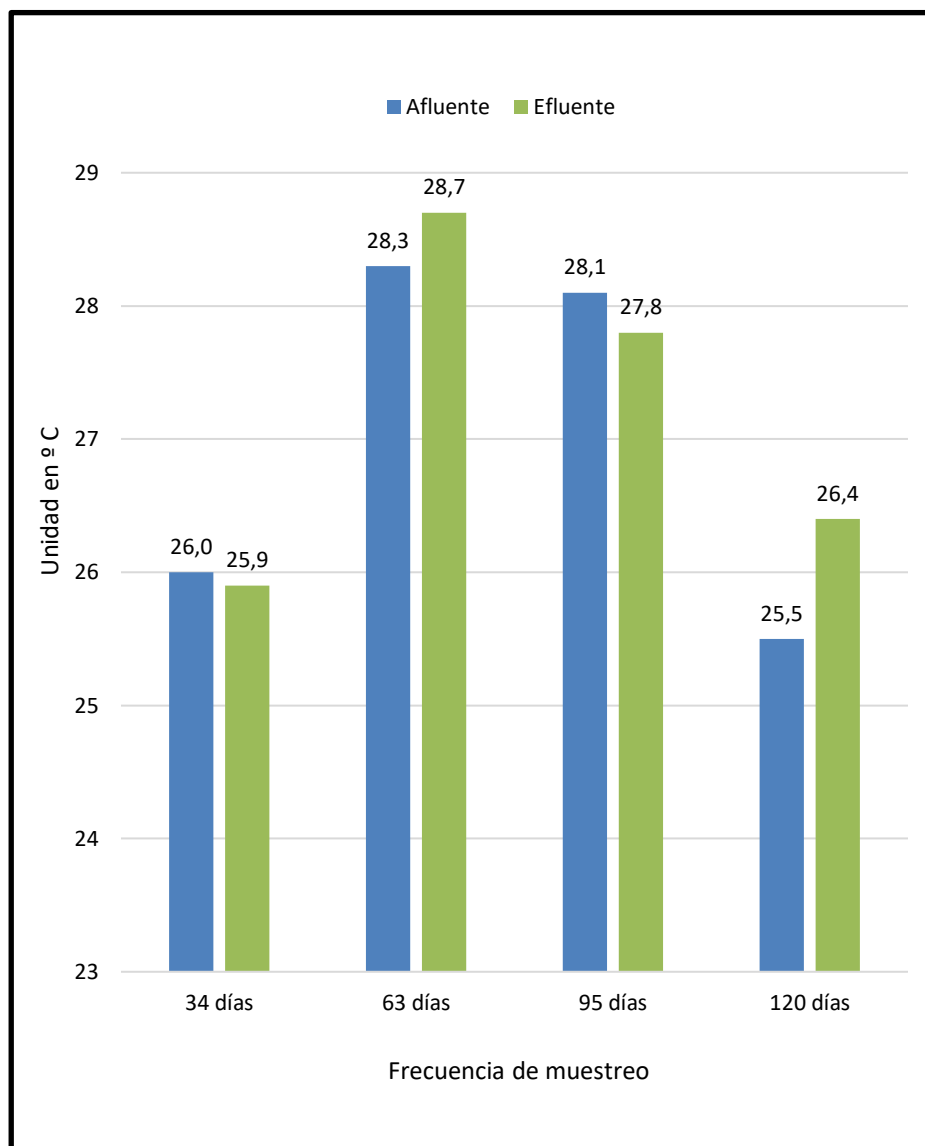


Figura 6: Caracterización de la Temperatura.

En la figura 6 se observa los rangos de la concentración registrados de la Temperatura durante el pre tratamiento (Barras de color azul), se puede observar que la mayor concentración se registró a los 63 días con una concentración de 28,3 °C; y la mínima concentración fue registrada a los 120 días con un valor de 25,5 °C.

En la figura 6 se observa los rangos de la concentración registrados de la Temperatura post tratamiento (Barras de color verde), se observa que la máxima concentración se registró a los 63 días con una concentración de 28,7 °C; a los 34 días se registró una mínima con un valor de 25,9 °C.

c) Caracterización de los sólidos totales disueltos (STD).

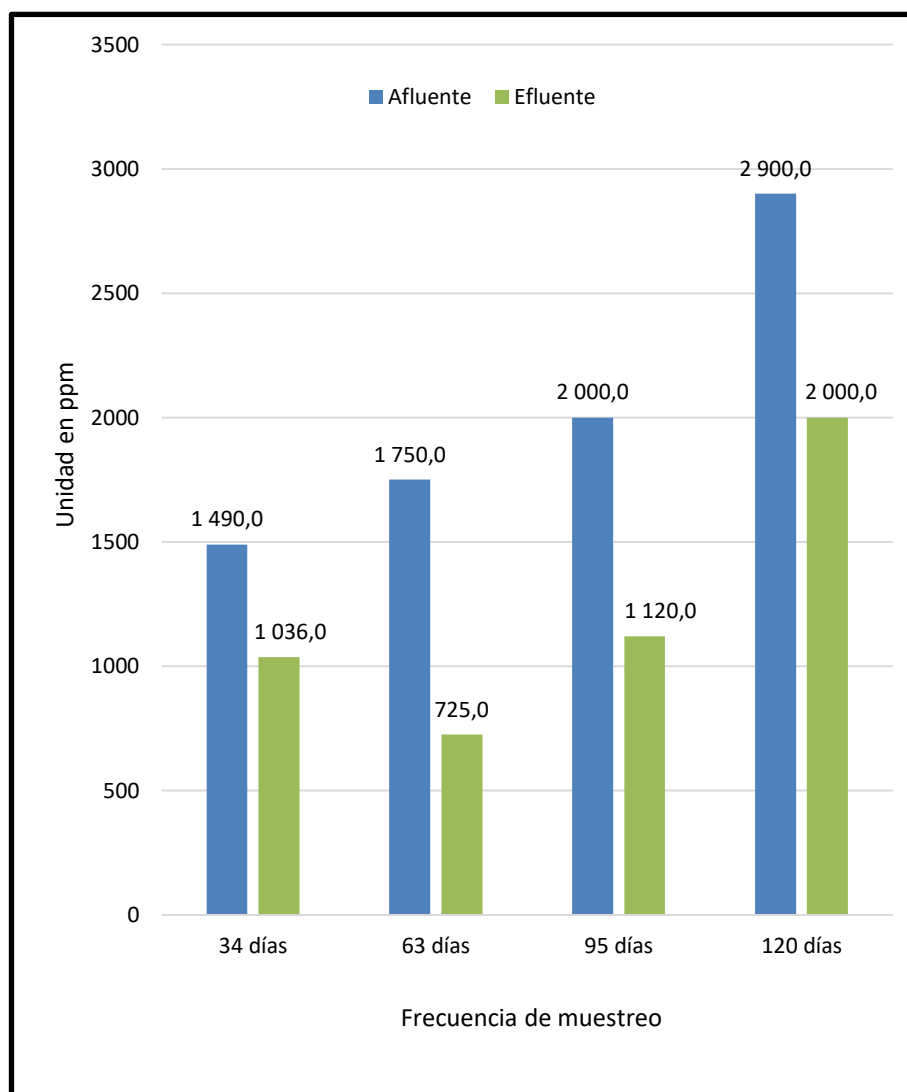


Figura 7: Caracterización de STD.

En la figura 7 se observa los rangos de la concentración registrados de los Sólidos totales disueltos durante el pre tratamiento (Barras de color azul), se puede observar que la mayor concentración se registró a los 120 días con una concentración de 2 900,0 ppm; y la mínima concentración fue registrada a los 34 días con un valor de 1 490,0 ppm.

En la figura 7 se observa los rangos de la concentración registrados de los Sólidos totales disueltos post tratamiento (Barras de color verde), se observa que la máxima concentración se registró a los 120 días con una concentración de 2 000,0 ppm; a los 63 días se registró una mínima con un valor de 725,0 ppm.

d) Caracterización del Fosfato (PO_4^{3-}).

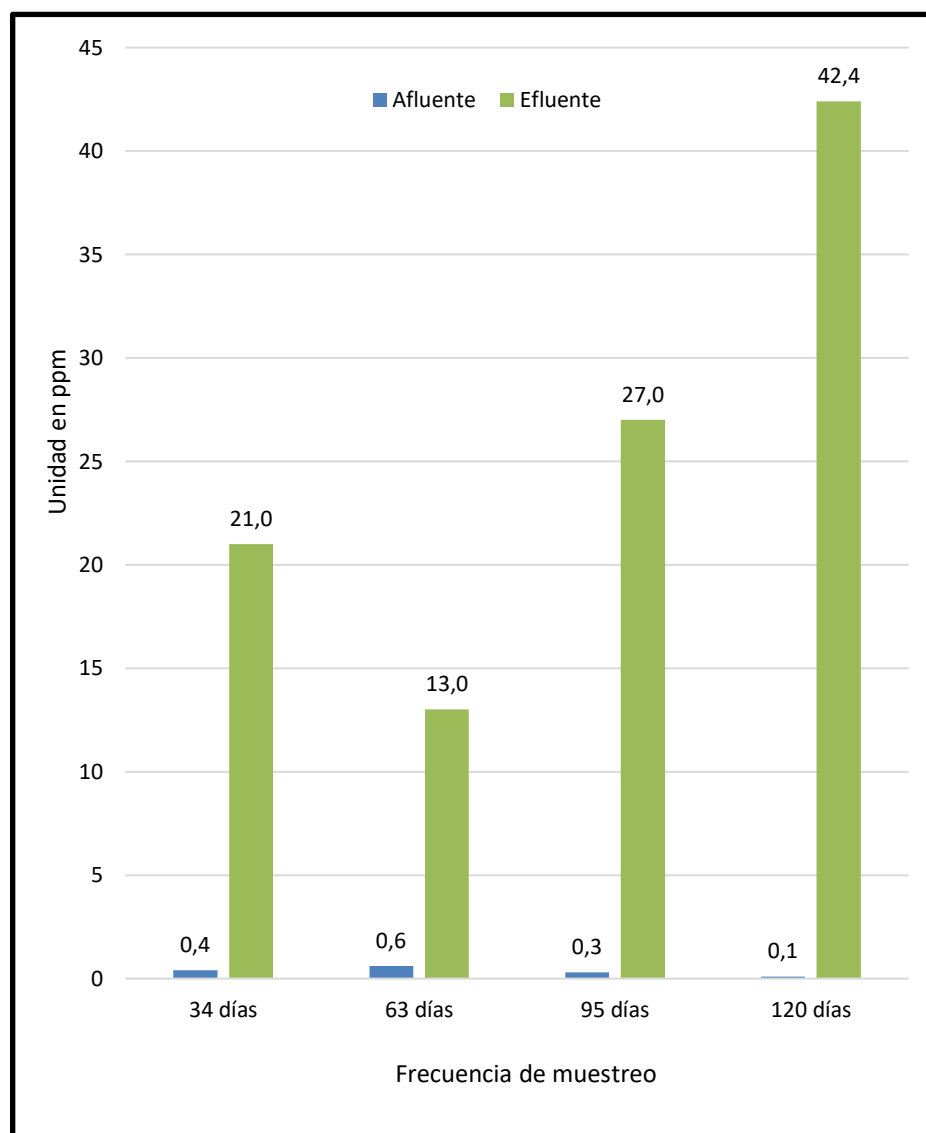


Figura 8: Caracterización del Fosfato.

En la figura 8 se observa los rangos de la concentración registrados del Fosfato durante el pre tratamiento (Barras de color azul), se puede observar que la mayor concentración se registró a los 63 días con una concentración de 0,6 ppm; y la mínima concentración fue registrada a los 120 días con un valor de 0,1 ppm.

En la figura 8 se observa los rangos de la concentración registrados del Fosfato post tratamiento (Barras de color verde), se observa que la máxima concentración se registró a los 120 días con una concentración de 42,4 ppm; a los 63 días se registró una mínima con un valor de 13,0 ppm.

e) Caracterización del nitrato (N-NO_3^-).

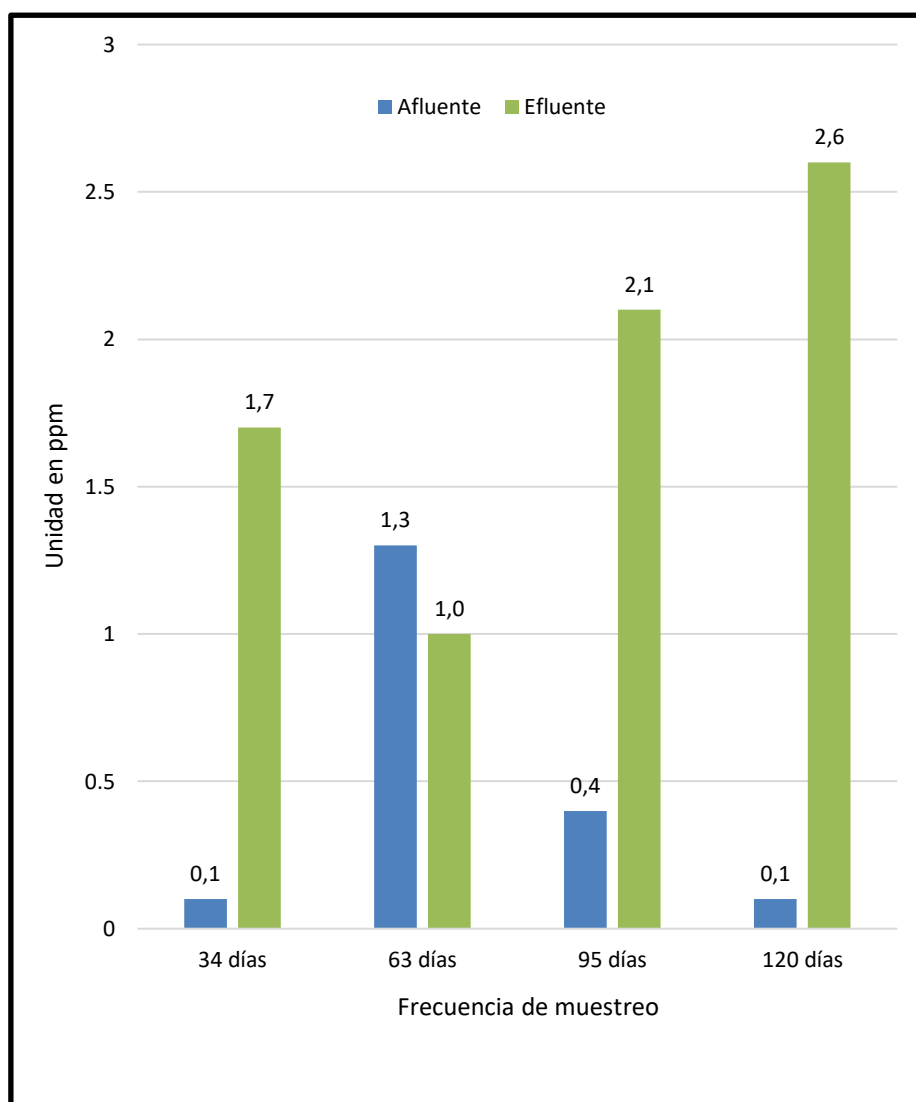


Figura 9: Caracterización del Nitrato.

En la figura 9 se observa los rangos de la concentración registrados del Nitrato durante el pre tratamiento (Barras de color azul), se puede observar que la mayor concentración se registró a los 63 días con una concentración de 1,3 ppm; y la mínima concentración fue registrada a los 34 días con un valor de 0,1 ppm.

En la figura 9 se observa los rangos de la concentración registrados del Nitrato post tratamiento (Barras de color verde), se observa que la máxima concentración se registró a los 120 días con una concentración de 2,6 ppm; a los 63 días se registró una mínima con un valor de 1,0 ppm.

f) Caracterización del oxígeno disuelto (OD).

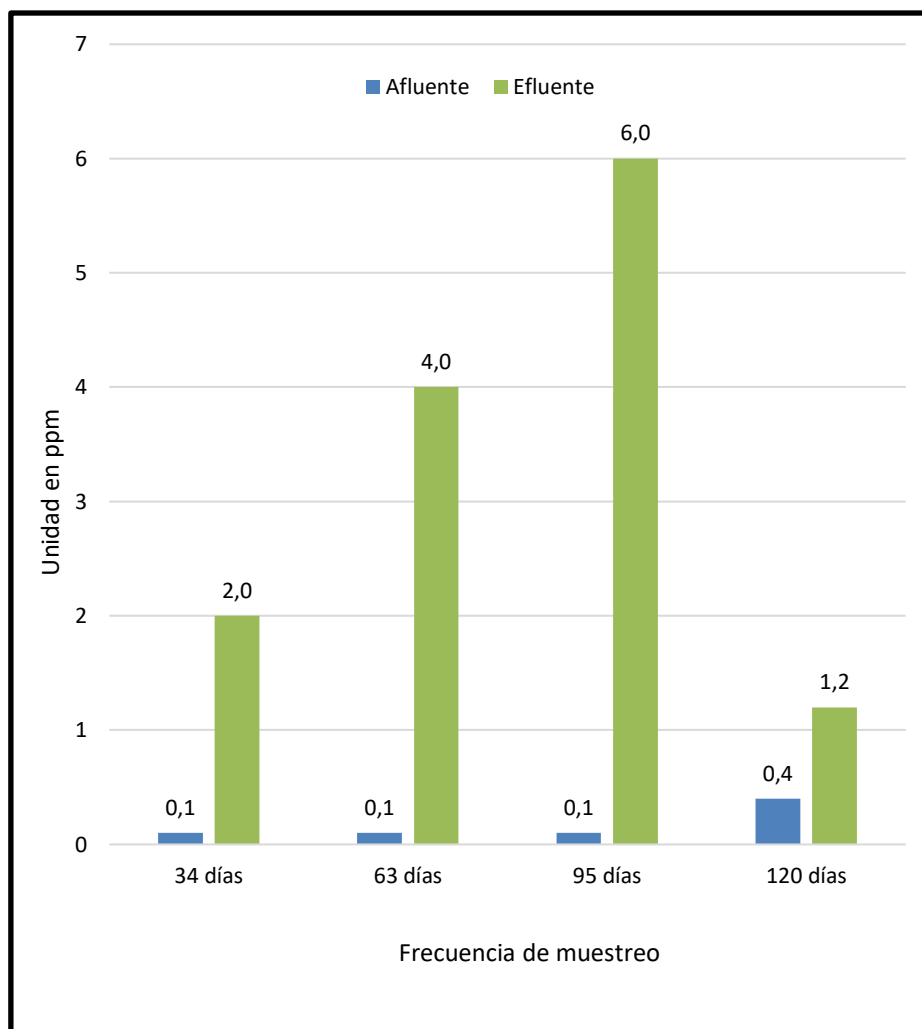


Figura 10: Caracterización del OD.

En la figura 10 se observa los rangos de la concentración registrados del oxígeno disuelto durante el pre tratamiento (Barras de color azul), se puede observar que la mayor concentración se registró a los 120 días, con una concentración de 0,4 ppm; y la mínima concentración fue registrada a los 34 días con un valor de 0,1 ppm.

En la figura 10 se observa los rangos de la concentración registrados del oxígeno disuelto post tratamiento (Barras de color verde), se observa que la máxima concentración se registró a los 95 días con una concentración de 6,0 ppm; a los 120 días se registró una mínima con un valor de 1,2 ppm.

g) Caracterización de la demanda química de oxígeno (DQO).

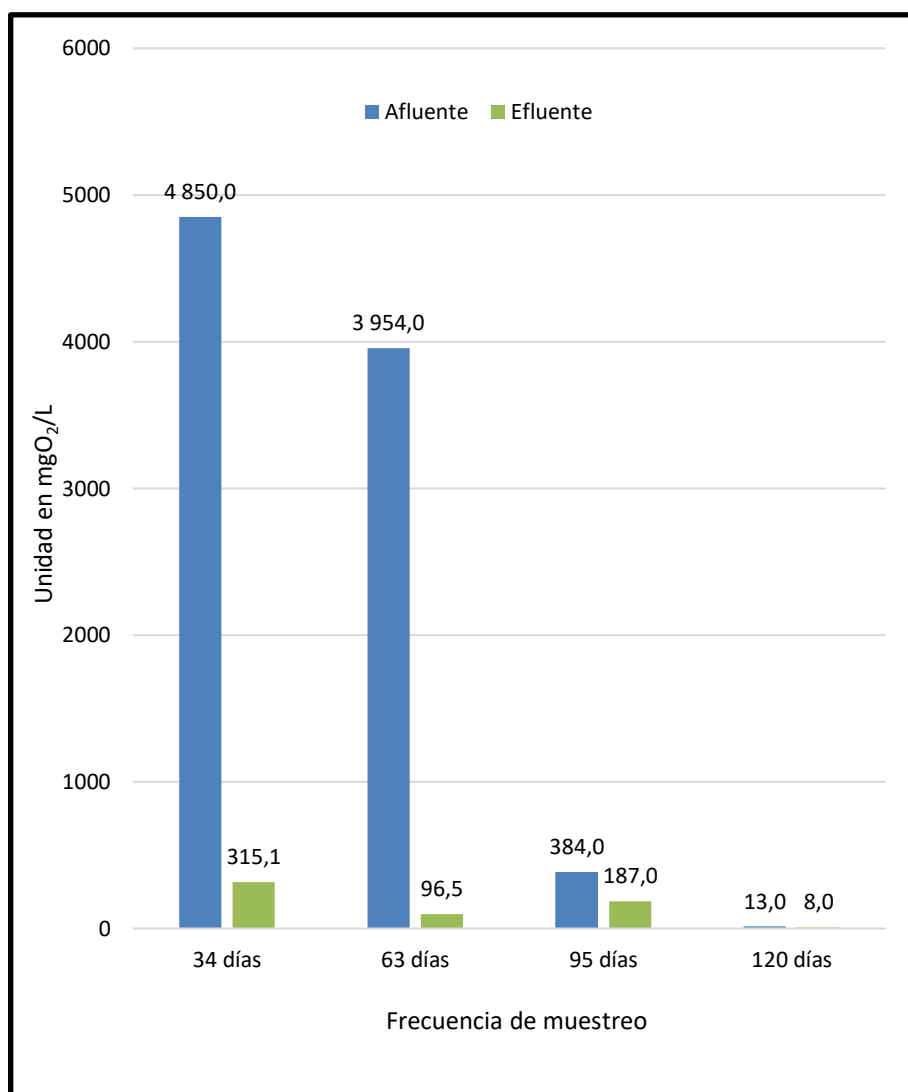


Figura 11: Caracterización de la DQO.

En la figura 11 se observa los rangos de la concentración registrados de la DQO durante el pre tratamiento (Barras de color azul), se puede observar que la mayor concentración se registró a los 34 días, con una concentración de 4 850,0 mgO₂/L; y la mínima concentración fue registrada a los 120 días con un valor de 13,0 mgO₂/L.

En la figura 11 se observa los rangos de la concentración registrados de la DQO post tratamiento (Barras de color verde), se observa que la máxima concentración se registró a los 34 días con una concentración de 315,1 mgO₂/L; a los 120 días se registró una mínima con un valor de 8,0 mgO₂/L.

h) Caracterización de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

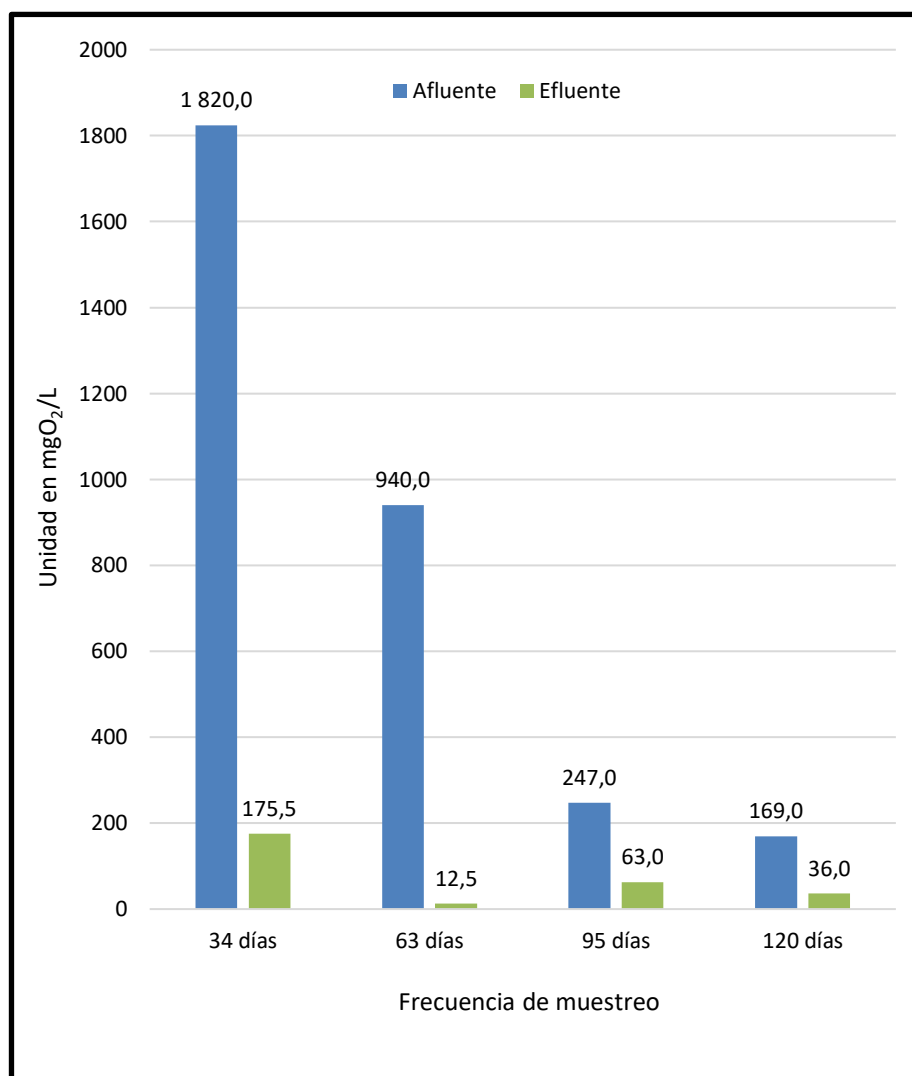


Figura 12: Caracterización de la DBO₅.

En la figura 12 se observa los rangos de la concentración registrados de la DBO₅ durante el pre tratamiento (Barras de color azul), se puede observar que la mayor concentración se registró a los 34 días con una concentración de 1 824,0 mgO₂/L; y la mínima concentración fue registrada a los 120 días con un valor de 169,0 mgO₂/L.

En la figura 12 se observa los rangos de la concentración registrados de la DBO₅ post tratamiento (Barras de color verde), se observa la máxima concentración se registró a los 34 días con una concentración de 175,0 mgO₂/L; a los 63 días se registró una mínima con un valor de 12,5 mgO₂/L.

3.2.2. Comparación del efluente final con los valores máximos admisibles (VMA).

Tabla 7

Comparación del efluente final con los VMA.

Frecuencia de muestreo	Fecha	Parámetro	Unidad	Valor efluente	Valor VMA	Condición
34 días	04/10/2017	DBO ₅	(mgO ₂ /L)	175,5	500,0	Si cumple
		DQO	(mgO ₂ /L)	315,1	1 000,0	Si cumple
		Temperatura	(°C)	25,6	<35	Si cumple
		pH	(pH)	6,6	6 – 9	Si cumple
		OD	(ppm)	2,0	-----	-----
		STD	(ppm)	1 036,0	-----	-----
		Fosfato	(ppm)	21,0	-----	-----
		Nitrato	(ppm)	1,7	-----	-----
		DBO ₅	(mgO ₂ /L)	12,5	500,0	Si cumple
		DQO	(mgO ₂ /L)	96,5	1 000,0	Si cumple
63 días	02/11/2017	Temperatura	(°C)	28,1	<35	Si cumple
		pH	(pH)	7,4	6 – 9	Si cumple
		OD	(ppm)	4,0	-----	-----
		STD	(ppm)	725,0	-----	-----
		Fosfato	(ppm)	13,0	-----	-----
		Nitrato	(ppm)	1,0	-----	-----
		DBO ₅	(mgO ₂ /L)	63,0	500,0	Si cumple
95 días						

120 días	04/12/ 2017	DQO	(mgO ₂ /L)	187,0	1 000,0	Si cumple
		Temperatura	(°C)	27,9	<35	Si cumple
		pH	(pH)	8,6	6 – 9	Si cumple
		OD	(ppm)	6,0	-----	-----
		STD	(ppm)	1 120,0	-----	-----
		Fosfato	(ppm)	27,0	-----	-----
		Nitrato	(ppm)	2,1	-----	-----
		DBO ₅	(mgO ₂ /L)	36,0	500,0	Si cumple
		DQO	(mgO ₂ /L)	8,0	1 000,0	Si cumple
		Temperatura	(°C)	26,0	<35	Si cumple
		pH	(pH)	7,8	6 – 9	Si cumple
		OD	(ppm)	1,2	-----	-----
		STD	(ppm)	2 000,0	-----	-----
		Fosfato	(ppm)	42,4	-----	-----
		Nitrato	(ppm)	2,6	-----	-----

Nota: Anexo Q – Valores máximos admisibles (VMA).

En la tabla 7 se puede apreciar la totalidad de parámetros evaluados para la presente tesis de investigación, obteniéndose resultados mayores a lo esperado de la eficiencia de remoción de la materia orgánica a los 63 días del periodo total, en la cual ha funcionado el Humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante. Los parámetros Oxígeno disuelto (OD), Sólidos totales disueltos (STD), Fosfato y Nitratos no contienen valores máximos admisibles.

3.3. Determinación de la remoción del agua residual mediante la eficiencia de tratamiento.

Tabla 8

Eficiencia de tratamiento del humedal artificial.

Parámetros de evaluación	34 días	63 días	95 días	120 días
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	90,4%	98,7%	74,5%	78,7%
DQO (mgO ₂ /L)	93,5%	97,6%	51,3%	38,5%
STD (ppm)	30,5%	58,6%	44,0%	31,0%
OD (ppm)	-1 900,0% (E.R.N)	-3 900,0% (E.R.N)	- 5 900,0% (E.R.N)	-200,0% (E.R.N)
Nitratos (ppm)	-1 600,0% (E.R.N)	23,1%	- 425,0% (E.R.N)	-2 500,0% (E.R.N)
Fosfato (ppm)	-5 150,0% (E.R.N)	-2 066,7% (E.R.N)	-8 900,0% (E.R.N)	-42 300,0% (E.R.N)
T (°C)	0,4% (P.Q.R)	-1,4% (P.Q.R)	1,1% (P.Q.R)	-3,5% (P.Q.R)
pH	0,0% (P.Q.R)	-1,4% (P.Q.R)	-45,8% (P.Q.R)	-1,3% (P.Q.R)

Nota: Anexo P – Eficiencia de tratamiento mensual.

*E.R.N: Eficiencia de remoción negativa., *P.Q.R: Parámetros que no se remueven.

3.3.1. Remoción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO).

a) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

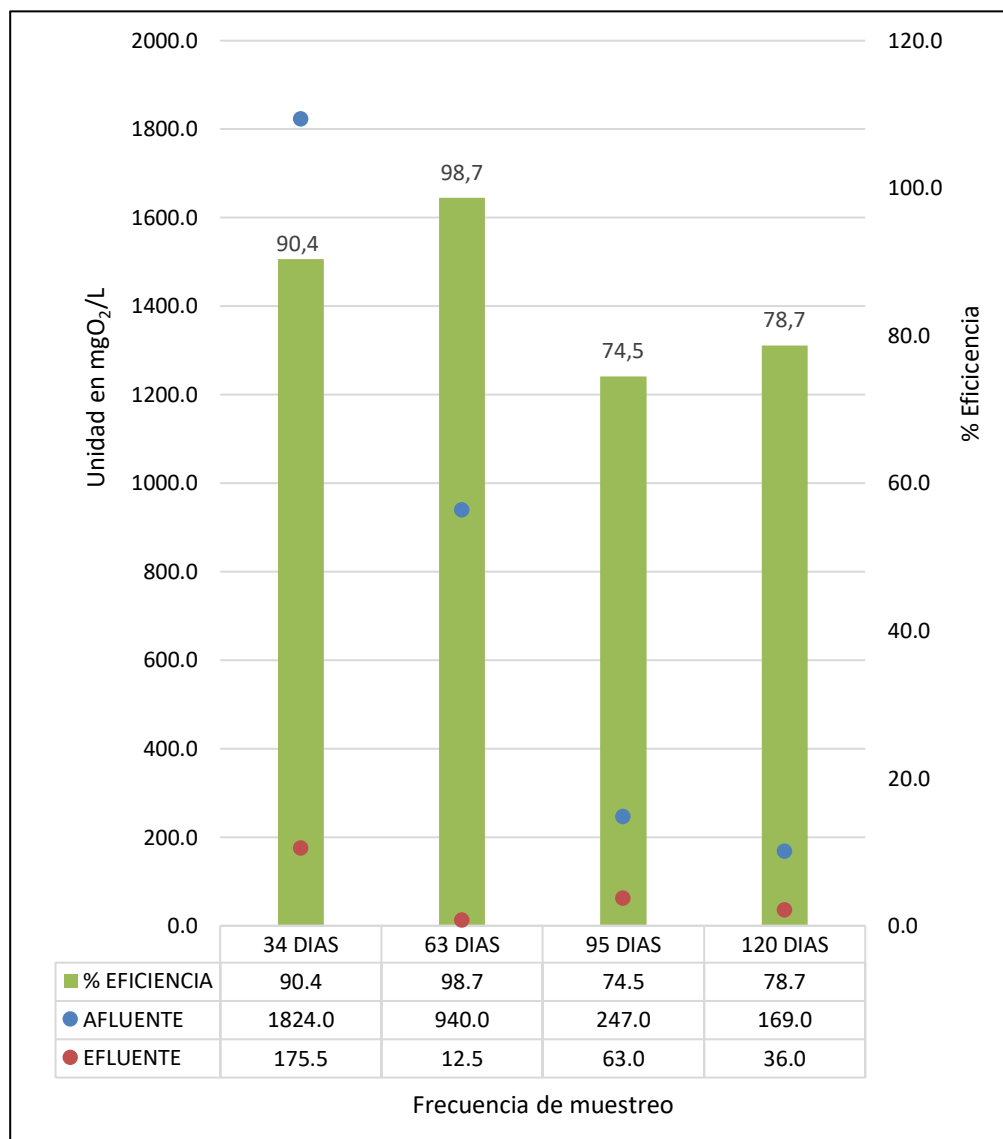


Figura 13: Eficiencia de remoción de la DBO₅

En la figura 13 se puede apreciar el porcentaje de remoción de la carga orgánica expresada como DBO₅. Se observa que la curva característica presenta una curva ascendente-descendente-ascendente, iniciando en la curva ascendente con un porcentaje alto de remoción con 98,7 % a los 63 días, en la curva descendente con un porcentaje mínimo de remoción con 74,5 % a los 95 días, y finalizando en la curva ascendente con un porcentaje de remoción del 78,7 % registrada a los 120 días.

b) Demanda química de oxígeno (DQO).

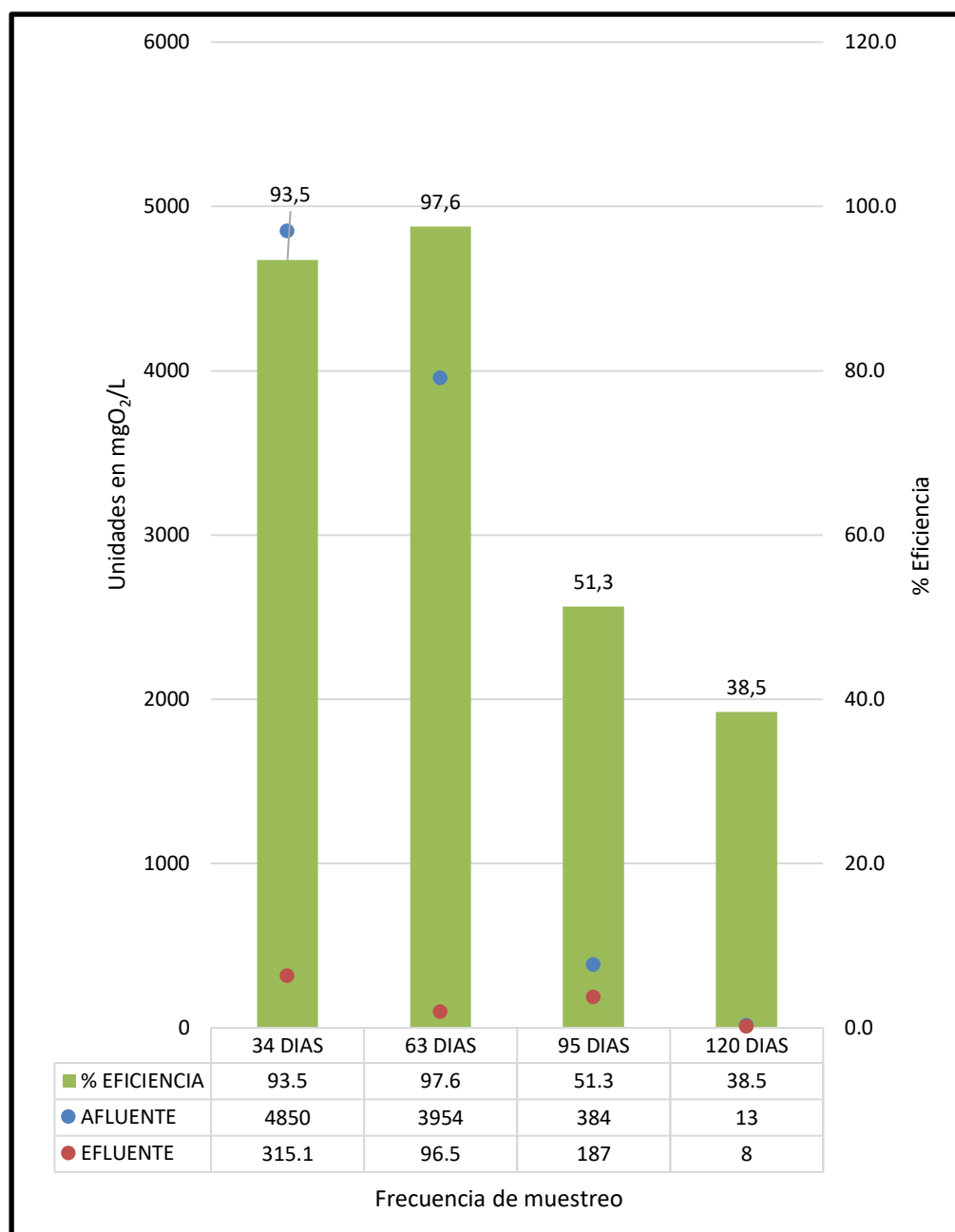


Figura 14: Eficiencia de remoción de la DQO.

En la figura 14 se puede apreciar el porcentaje de remoción de la carga orgánica expresada como DQO. Se observa que la curva característica presenta es una curva ascendente-descendente-descendente, iniciando en la curva ascendente con un porcentaje alto de remoción con 97,6 % a los 63 días, en la curva descendente con un porcentaje de remoción con 51,3 % a los 95 días, y finalizando en la curva descendente con un porcentaje de remoción del 38,5 % registrada a los 120 días.

3.3.2. Remoción de sólidos totales disueltos (STD).

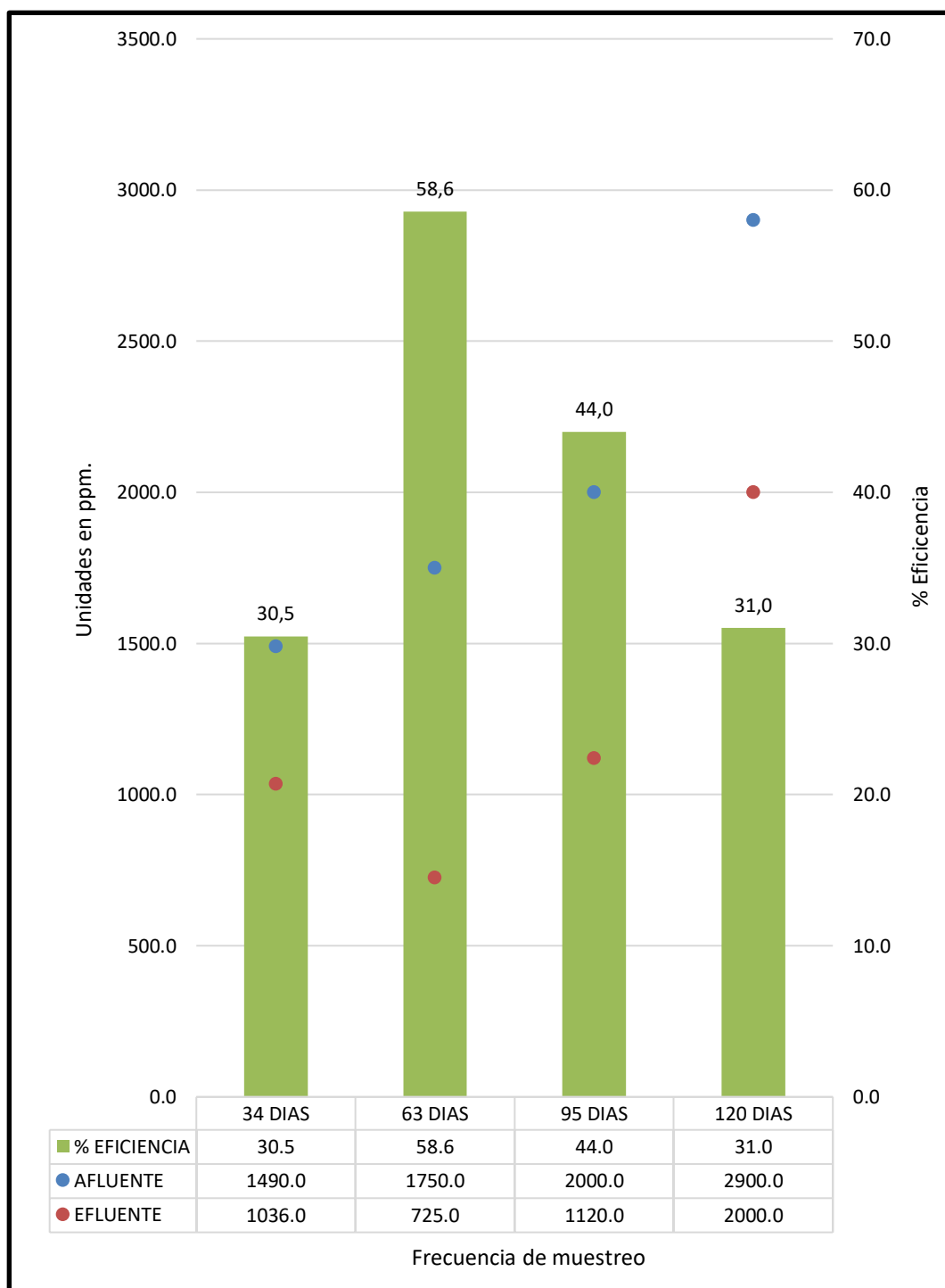


Figura 15: Eficiencia de remoción de STD.

En la figura 15 se puede apreciar el porcentaje de remoción de los sólidos totales disueltos. Se observa que la curva característica presenta es una curva ascendente-descendente, iniciando en la curva ascendente con un porcentaje alto de remoción con 58,6% a los 63 días, y finalizando en la curva descendente con un porcentaje de remoción de 31,0% registrada a los 120 días.

3.3.3. Remoción del oxígeno disuelto (OD).

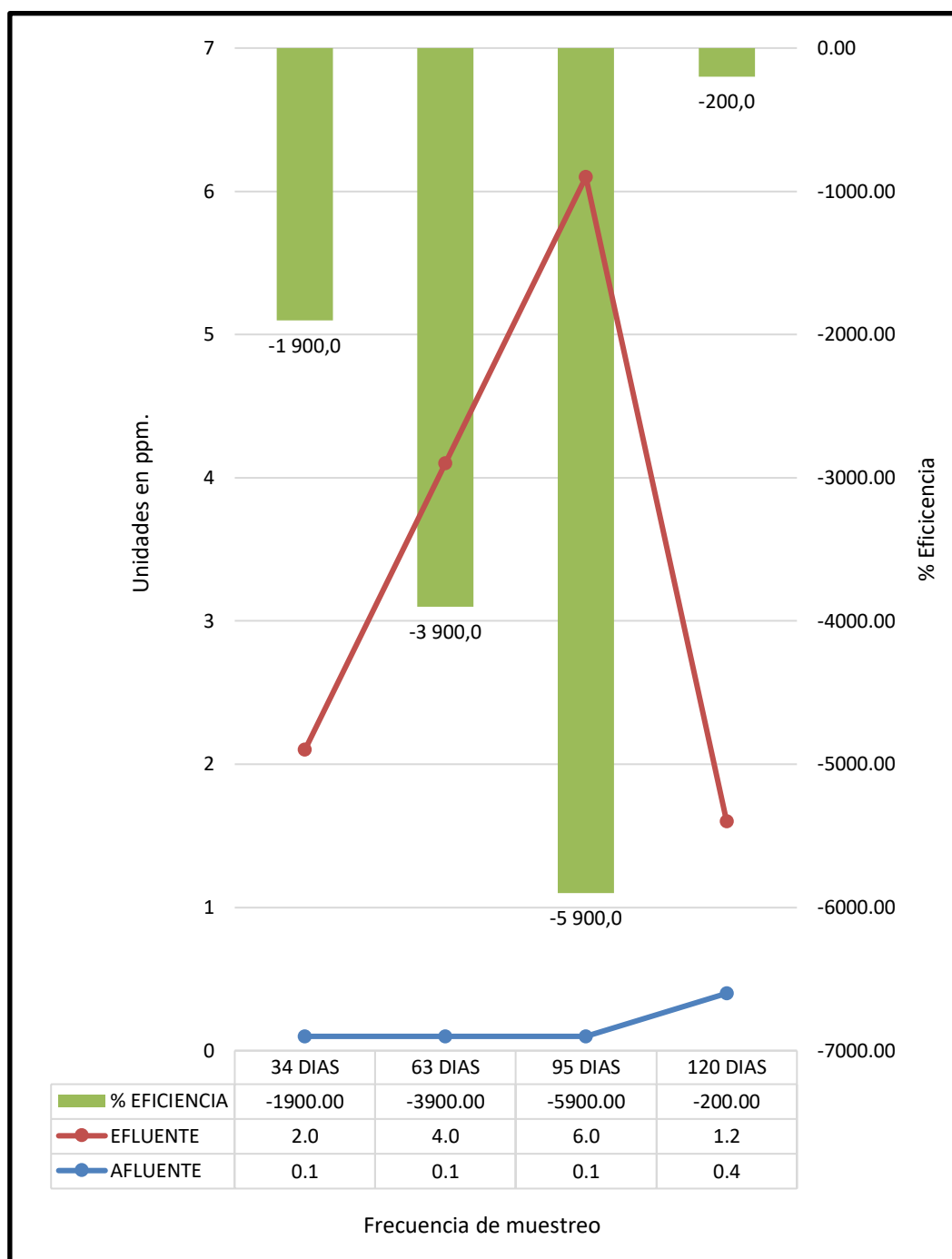


Figura 16: Eficiencia de remoción de OD.

En la figura 16 se puede apreciar el porcentaje de remoción del Oxígeno Disuelto. Se observa que la curva característica presenta es una curva descendente- descendente- ascendente, iniciando en la curva descendente con un porcentaje negativo alto de remoción con -5,900.0 % a los 95 días, y finalizando en la curva ascendente negativo bajo con un porcentaje de remoción de -200,0% registrada a los 120 días.

3.3.4. Remoción de Nitratos (N-NO_3^-).

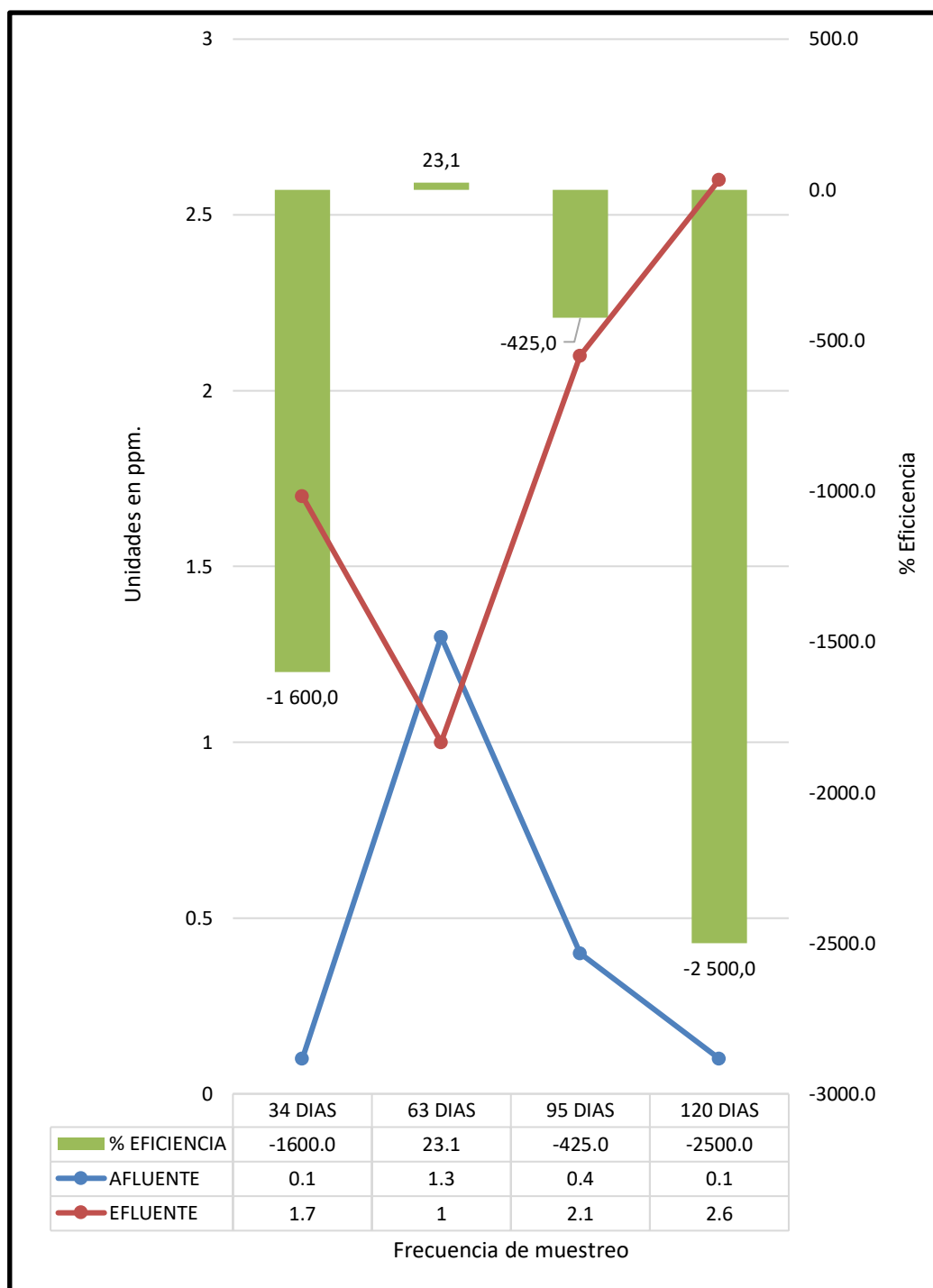


Figura 17: Eficiencia de remoción del Nitrato.

En la figura 17 se puede apreciar el porcentaje de remoción del Nitrato. Se observa que la curva característica presenta es una curva creciente y decreciente, iniciando en la curva creciente con un porcentaje alto de remoción positiva con 23,1% a los 63 días, y finalizando en la curva decreciente negativa con un porcentaje de remoción de -2 500,0% registrada a los 120 días.

3.3.5. Remoción de Fosfatos (PO_4^{3-}).

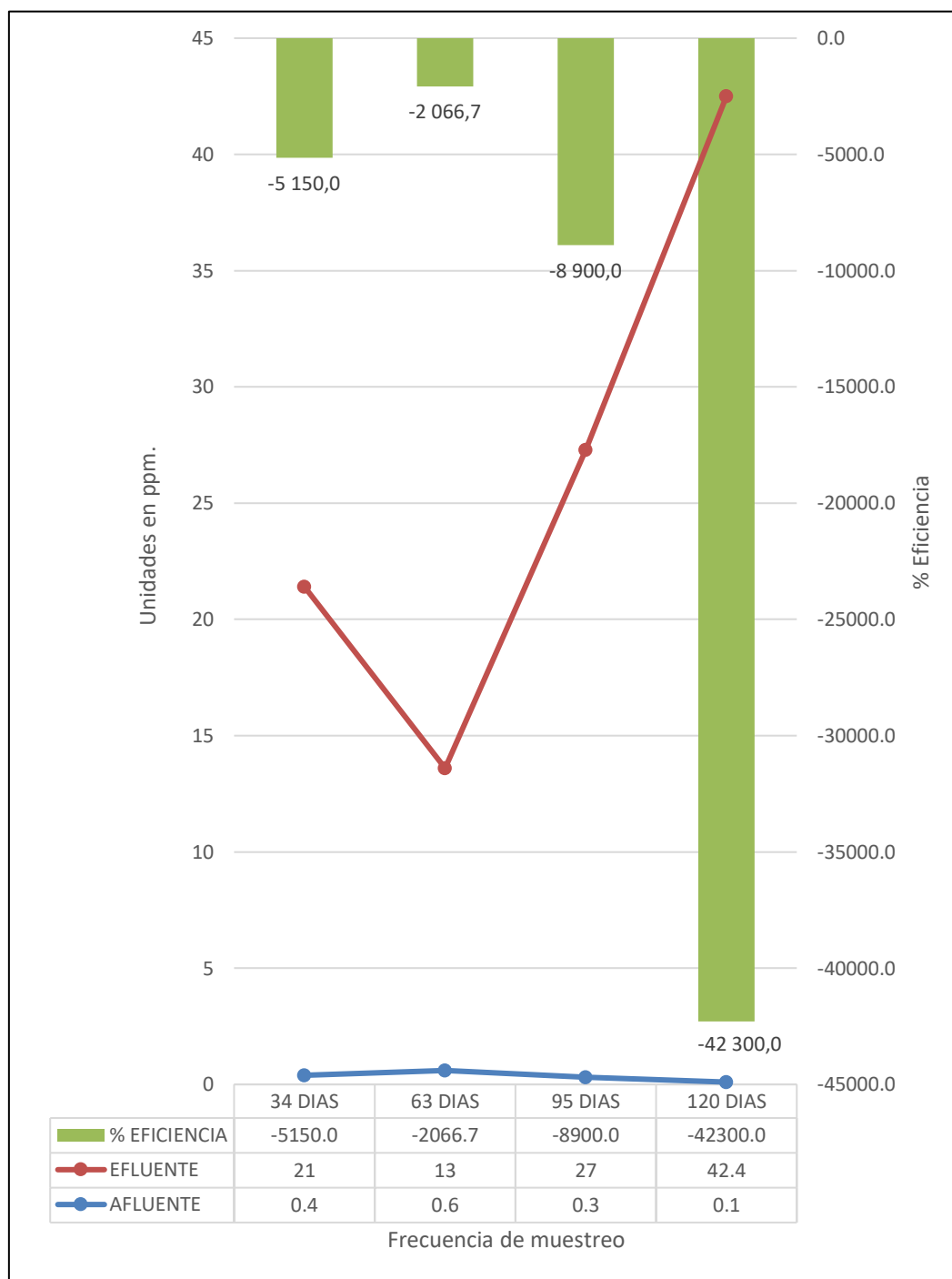


Figura 18: Eficiencia de remoción del Fosfato.

En la figura 18 se puede apreciar el porcentaje de remoción del Fosfato. Se observa que la curva característica presenta es una curva ascendente- descendente, iniciando en la curva ascendente con un porcentaje alto de remoción negativa con -2 066,7% a los 63 días, y finalizando en la curva descendente negativa con un porcentaje de remoción de -42 300,0% registrada a los 120 días.

3.4. Determinación de la influencia de factores externos en el sistema de tratamiento del humedal artificial.

3.4.1. Influencia de la temperatura en el sistema de tratamiento.

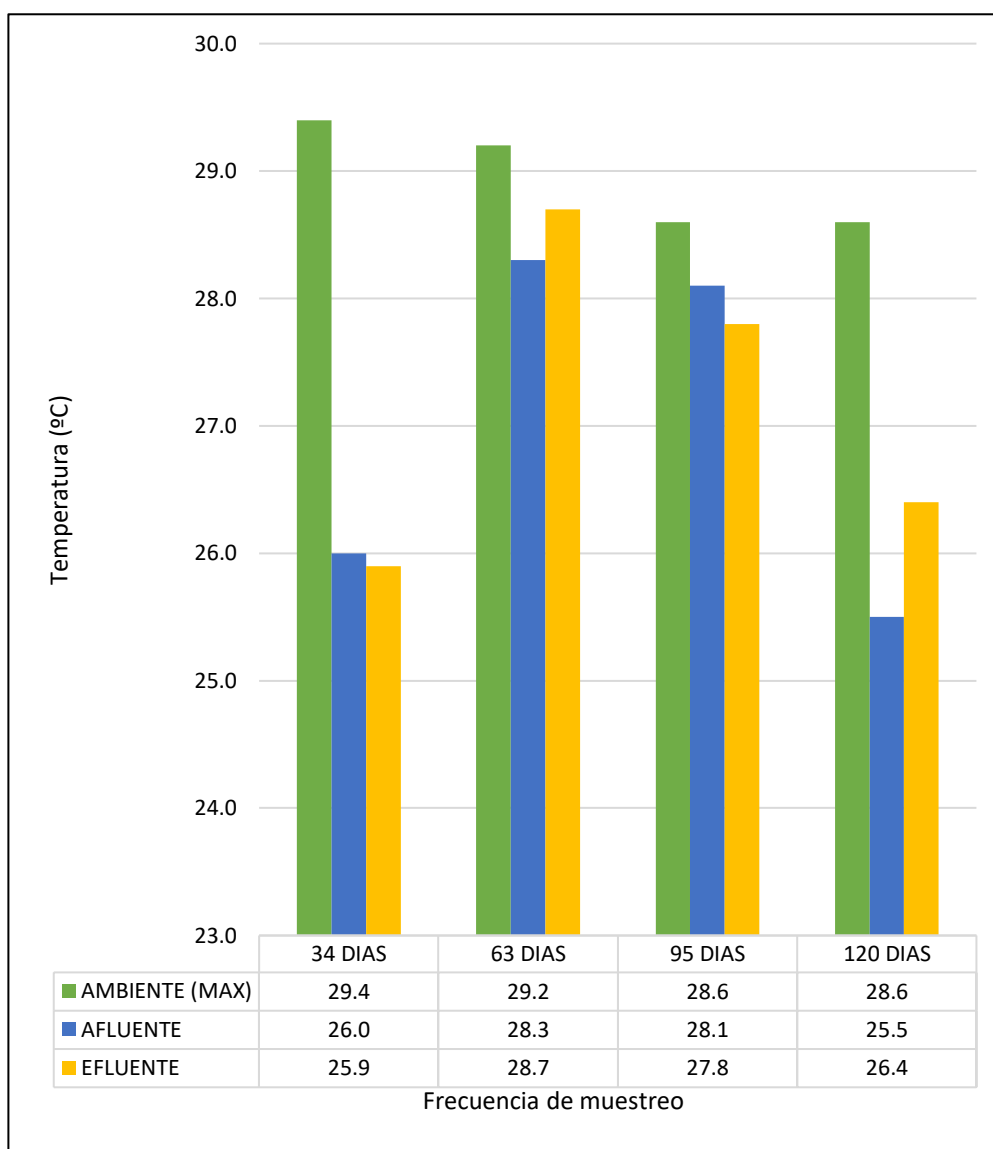


Figura 19: Influencia de la Temperatura.

En la figura 19 se observa los rangos de la concentración mensual registrados por SENAMHI de la Temperatura máxima ambiental (Barras de color verde), y del sistema de tratamiento a la Temperatura en afluente (Barras de color azul) y la Temperatura en efluente (Barras de color amarillo), en la cual se puede observar que la variación de la temperatura en efluente se registró a los 63 y 120 días influyendo en la remoción de la carga orgánica del sistema de tratamiento, la cual conlleva que la temperatura influye en la DBO₅.

3.4.2. Influencia en la variación de la carga orgánica (DBO₅ y DQO).

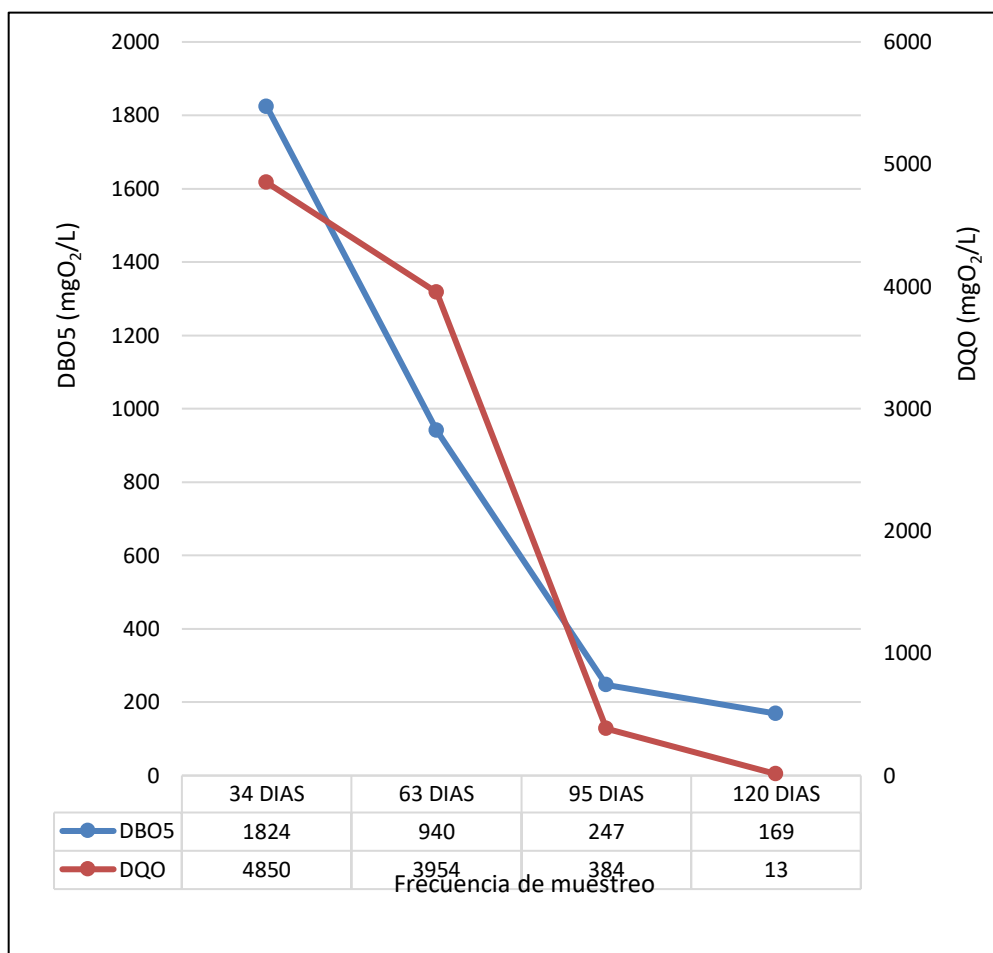


Figura 20: Influencia de la carga orgánica en afluente (agua residual sin tratamiento).

En la figura 20 se observa los rangos de la concentración registrados de la DBO₅ durante el pre tratamiento (Línea de color azul) y de la DQO (Línea de color rojo), se puede observar que la concentración va de forma descendente.

La fuente de agua residual en la cual se ha muestreado los días 34 y 63, fueron directamente del efluente de tanque sedimentador primario (tratamiento propio del matadero municipal). Mientras que los muestreos de los días 95 y 120, fueron directamente del afluente del sedimentador primario debido al colapso del propio sistema de tratamiento.

Denotándose que la mayor concentración de la DBO₅ y DQO se origina cuando el agua residual entra en contacto la materia orgánica que contiene el tanque sedimentador.

3.4.3. Influencia de la carga de nutrientes (Nitratos y Fosfatos).

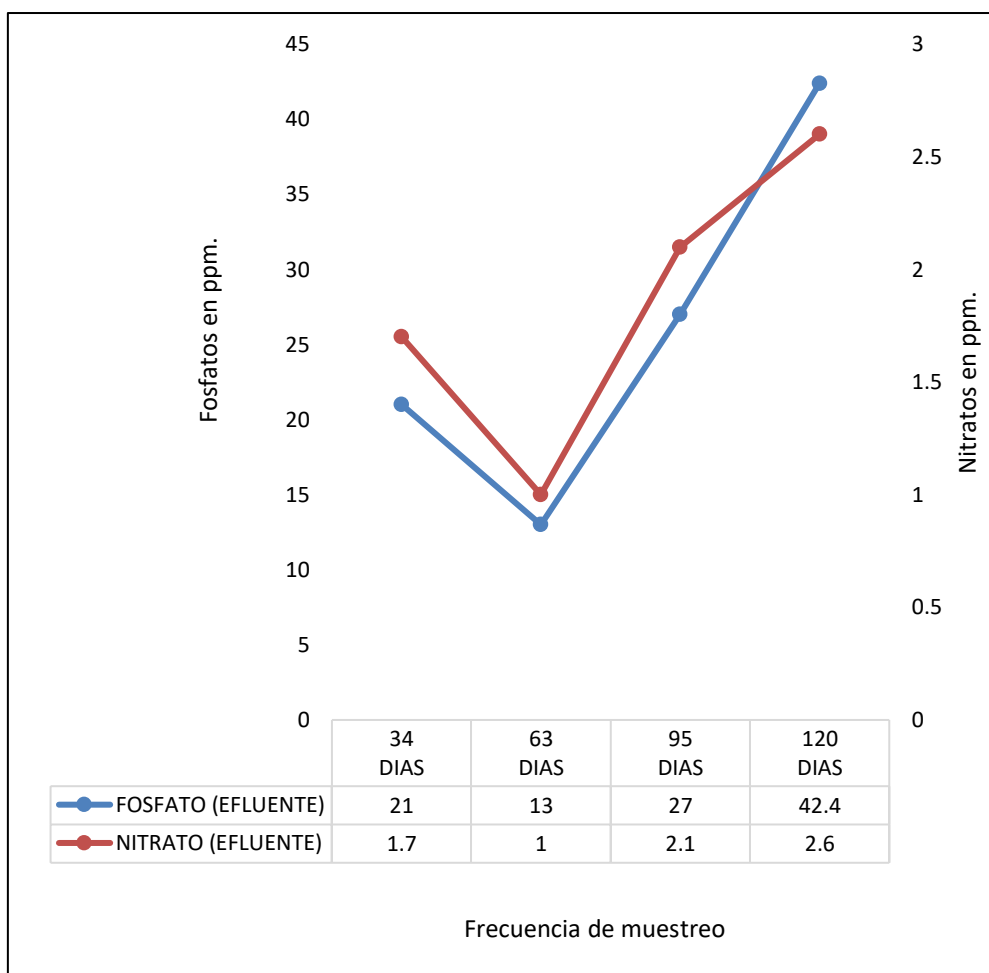


Figura 21: Influencia en la variación de nutrientes (Nitratos y Fosfatos).

En la figura 21 se observa los rangos de la concentración registrados del Fosfato (Línea de color azul) y del Nitrato (Línea de color Rojo), en la cual se puede observar que a los 63 días del sistema de tratamiento logra disminuir la carga de nutrientes influyendo en el crecimiento acelerado de las plantas y por ende en la eficiencia de remoción en la carga de nutrientes.

3.4.4. Influencia del tiempo de retención hidráulica (TRH).

La presente tesis de investigación, conllevó que a mayor tiempo de retención hidráulica más efectiva es la remoción de carga orgánica valorada como DBO_5 (Ver Anexo P: Remoción de la materia orgánica en diferentes proyectos de investigación), como se puede apreciar en la siguiente figura respectiva:

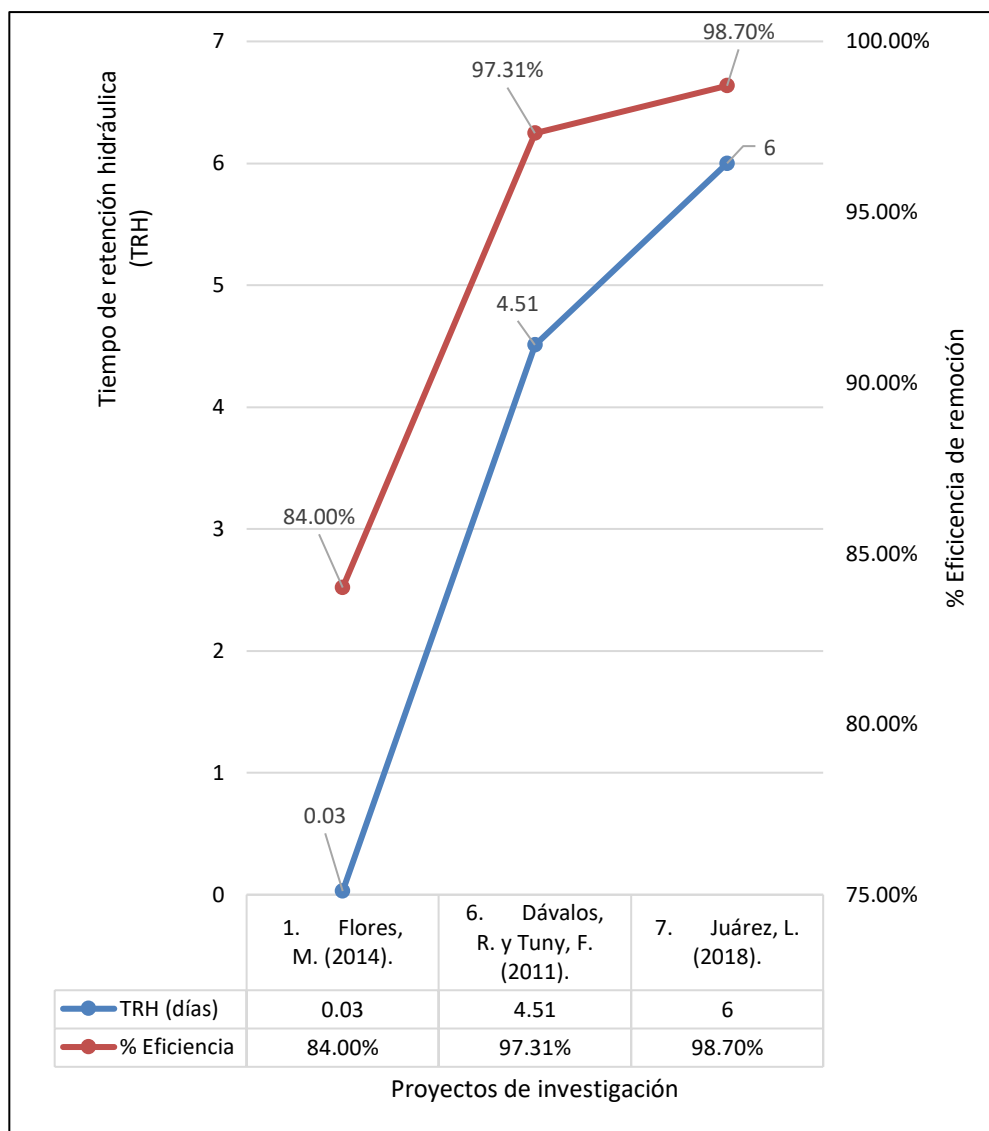


Figura 22: Influencia del TRH en diversos humedales artificiales.

3.5. Evaluación del humedal artificial en la remoción de aguas residuales.

3.5.1. Evaluación basada en la normativa vigente para vertimientos de aguas residuales no domésticas (VMA).

Tabla 9

Contrastación del efluente en los valores máximos admisibles (VMA).

Tiempo en días	Fecha	Parámetro	Unidad	Valor efluente	Valor VMA	Condición
34 días		DBO ₅	(mgO ₂ /L)	175,5	500,0	Si cumple

	04/10/ 2017	DQO	(mgO ₂ /L)	315,1	1 000,0	Si cumple
		Temperatura	(°C)	25,6	<35	Si cumple
		pH	(pH)	6,6	6 – 9	Si cumple
63 días	02/11/ 2017	DBO ₅	(mgO ₂ /L)	12,5	500,0	Si cumple
		DQO	(mgO ₂ /L)	96,5	1 000,0	Si cumple
		Temperatura	(°C)	28,1	<35	Si cumple
		pH	(pH)	7,4	6 – 9	Si cumple
95 días	04/12/ 2017	DBO ₅	(mgO ₂ /L)	63,0	500,0	Si cumple
		DQO	(mgO ₂ /L)	187,0	1 000,0	Si cumple
		Temperatura	(°C)	27,9	<35	Si cumple
		pH	(pH)	8,6	6 – 9	Si cumple
120 días	29/12/ 2017	DBO ₅	(mgO ₂ /L)	36,0	500,0	Si cumple
		DQO	(mgO ₂ /L)	8,0	1 000,0	Si cumple
		Temperatura	(°C)	26,0	<35	Si cumple
		pH	(pH)	7,8	6 – 9	Si cumple

Nota: Anexo Q – valores máximos admisibles (VMA).

De la caracterización del efluente realizada durante el periodo de tratamiento de aguas residuales, podemos afirmar que los parámetros comparados con la normativa vigente (VMA), son aptos para su posterior vertimiento tal como se

muestra en el cuadro, determinándose que el efluente si cumple los rangos óptimos establecidos. Las aguas residuales provenientes del matadero municipal pertenecen al tipo de aguas residuales no domésticas.

3.5.2. Evaluación basada en el análisis estadístico (t-Student).

Tabla 10

Parámetros que reducen en porcentajes a la materia orgánica.

Parámetros	a 34 días	a 63 días	a 95 días	a 120 días
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	90,4	98,7	74,5	78,7
DQO (mg O ₂ /L)	93,5	97,6	51,3	38,5

Nota: Anexo O – Eficiencia de tratamiento mensual.

Tabla 11

Prueba t para dos muestras respecto a la DBO₅.

Medidas	Valor calculado en el afluente	Valor calculado en el efluente
Media	795,0	71,75
Varianza	590 682,0	5 209,75
Coeficiente de correlación	0,75	
Hipótesis nula (H ₀)	M _A =M _E	
Hipótesis alternativa (H ₁)	M _A >M _E	
Nivel de confianza	95%	
Estadístico t	2,04	
Valor crítico de t (una cola)	1,80	

Nota: figura 12

Según la tabla 11, dado que el estadístico t (2,04) mayor que el valor crítico (1,80), se acepta la hipótesis alternativa, deduciéndose que el humedal artificial aplicando el lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante, contribuye significativamente en la remoción de la DBO₅ de las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba; asimismo, se

concluye que el 75 % de esta remoción esta explicado por el humedal artificial

Tabla 12

Prueba t para dos muestras respecto a la DQO

Medidas	Valor calculado en el afluente	Valor calculado en el efluente
Media	2 300,25	151,65
Varianza	6 046 546,92	17 214,12
Coeficiente de correlación	0,61	
Hipótesis nula (H_0)	$M_A=M_E$	
Hipótesis alternativa (H_1)	$M_A>M_E$	
Nivel de confianza	95%	
Estadístico t	2,35	
Valor crítico de t (una cola)	1,80	

Nota: figura 11

Según la tabla 12, dado que el estadístico t (2,35) mayor que el valor crítico (1,80), se acepta la hipótesis alternativa, deduciéndose que el humedal artificial aplicando el lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante, contribuye significativamente en la remoción de la DQO de las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba; asimismo, se concluye que el 61 % de esta remoción esta explicado por el humedal artificial.

3.5.3. Evaluación basada en la remoción de la materia orgánica (DBO₅).

La evaluación fue basada en la comparación de tesis o proyectos de investigación que se relacionan con el tratamiento de aguas residuales no domésticas (Ver Anexo P: Remoción de la materia orgánica en diferentes proyectos de investigación), siendo 03 tesis basadas en el tratamiento de aguas residuales de mataderos municipales o aguas residuales industriales (ARI) como se puede apreciar la figura respectiva:

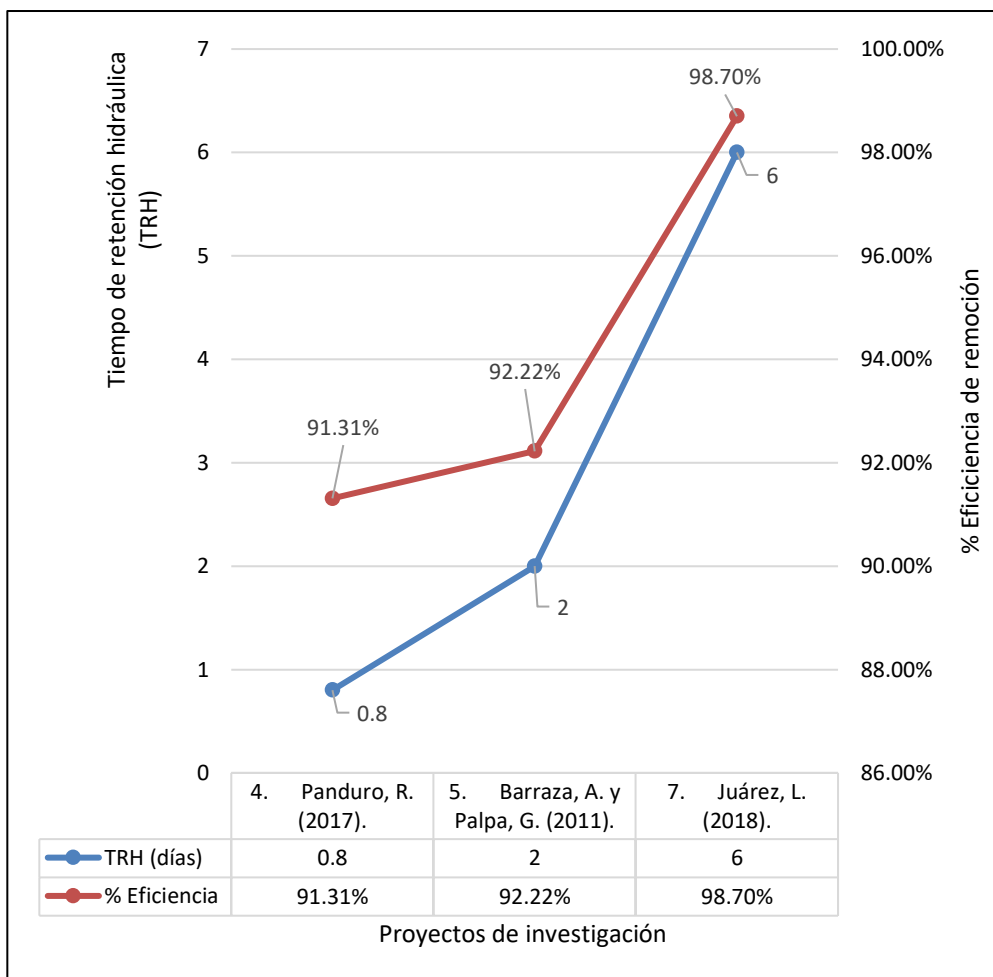


Figura 23: Remoción de la DBO₅ en diversos proyectos de investigación.

3.6. Discusión de resultados.

Montalván y López (2017), demuestran que su sistema de tratamiento se diseñó con un humedal artificial Subsuperficial vertical (HAFSS) descendente con las siguientes medidas: 1,80 m de largo, 0,60 m de ancho y una profundidad de 0,85m; en la que se usó sustratos como arena, tierra negra, grava fina y grava media para que las plantas de *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora) obtengan una mejor depuración de las aguas residuales domésticas y por ende mayor remoción de los parámetros caracterizados. Para la presente tesis de investigación se optó por diseñar un humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante, con dimensiones de 1,15 m de altura (incluyendo borde libre y evacuación de lodos) y 0,86 m² de área superficial; en las que se usó sustratos como grava media, grava fina y arena gruesa, utilizando la planta acuática *Eichhornia crassipes* spp.

Para la caracterización del agua residual industrial provenientes del matadero municipal de Moyobamba, el presente proyecto de investigación optó por analizar ocho (08) parámetros fisicoquímicos siendo el DBO₅, DQO, Sólidos totales disueltos, Nitratos, Fosfatos, pH, temperatura y oxígeno disuelto. Para **Panduro (2017)** los parámetros estudiados en su investigación solo fueron la DBO₅, DQO, pH y temperatura. Los parámetros que se van a analizar es dependiendo del criterio del investigador, pero según los antecedentes de investigación hay que considerar el análisis de más parámetros, con la finalidad de identificar con mayor precisión el proceso de tratamiento y por ende la caracterización de diversos parámetros en las diferentes épocas del año.

Panduro (2017) detalla en sus resultados que el pH registrado en su investigación osciló en un valor 7,28 a 6,02 unidades de pH en la etapa de monitoreo, considerando un promedio de 6,5 unidades de pH. Para el presente trabajo de investigación y la tesis anterior concuerdan en el tratamiento de aguas residuales industriales provenientes del camal municipal, teniendo al pH del humedal artificial en un rango de 6,6 a 7,8, con un promedio de 7,6 unidades de pH; demostrando que el pH con la que trata un biorreactor UASB es diferente al de un Humedal artificial.

Flores (2014) utilizó la especie *Eichhornia crassipes* conocido comúnmente como “jacinto de agua”, esta planta se adaptó perfecto a los cambios de temperatura característico de la ciudad de Moyobamba, la temperatura promedio en la que se desarrolló la especie durante los cuatro meses que duró la investigación está comprendida dentro de 21 y 23 °C. Para la presente investigación también se optó por utilizar la especie *Eichhornia crassipes spp*; teniendo como resultados que esta especie de planta se desarrolló a temperaturas de 25,9 y 28,7 °C, refutando la veracidad de los resultados de **García (2016)**, donde menciona que la temperatura óptima para el crecimiento de jacintos dentro del humedal oscila entre los 25 y 30 °C, fuera de este rango las plantas sufrieron daños en su morfología, así mismo de **Dávalos y Tuny (2011)**, que concluyen que uno de los factores que influyen mayormente en la degradación de la materia orgánica es la temperatura, variando entre los 18 °C hasta los 28 °C, un rango optimo mesófilo si tomamos en cuenta los datos de otros investigadores.

García (2012) concluye que en el sistema continuo, la reproducción del jacinto de agua comenzó a partir del tercer día incrementando el oxígeno disuelto en cada acuario, nuevamente este parámetro disminuye hasta llegar a la misma concentración del afluente manteniéndose casi constante después en 5 mg/L. Para el presente trabajo de investigación también se optó por trabajar con el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes spp*) obteniéndose valores de incremento en oxígeno disuelto entre 1.2 a 6.0 ppm.

Medina y López (2015), pudieron concluir que mediante su humedal artificial los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico y microbiológico al tercer mes de investigación cumplió con los parámetros establecidos en los Límites Máximos Permisibles (LMP); así mismo **Montalván y López (2017)** mediante su humedal artificial los resultados obtenidos del efluente durante el segundo mes de investigación cumplieron con los Límites Máximos Permisibles (LMP). El presente trabajo de investigación mediante el humedal artificial se obtuvo resultados del análisis fisicoquímico que al primer mes de investigación cumplieron con los parámetros establecidos en los Valores Máximos Admisibles (VMA).

Panduro (2017) concluye que su reactor UASB dio tratamiento al agua residual provenientes del matadero municipal obteniendo una remoción eficiente de la carga orgánica expresada como DBO_5 del 73,91%, con un promedio de 497,03 mgO_2/L en el efluente. Para el presente trabajo de investigación el humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante obtuvo como resultado una remoción de la carga orgánica expresada como DBO_5 del 85,6% con un promedio de 71,8 mgO_2/L en el efluente.

El presente trabajo de investigación en cuanto al parámetro DQO, el humedal artificial obtuvo una máxima remoción del 97,6 % y una remoción promedio igual a 70,2 %. Para **Baquerizo y Flores (2011)**, concluyen que los reactores con altura inicial de lodo de 42cm (R1 y R2), tuvieron una máxima remoción de 49,26% y una remoción promedio igual a 25,08%, mientras que los reactores con altura de lodo de 28cm (R3 y R4) obtuvieron una máxima remoción de 43,36% y una remoción promedio igual a 23,81%. Ambos proyectos de investigación concuerdan con el tratamiento de aguas residuales provenientes de mataderos.

Eduardo (2015), en sus resultados menciona que el humedal artificial de flujo sub superficial (HAFSS) empleando la totora ha sido eficiente para la remoción de nitratos (N-NO_3^-) y ortofosfatos (PO_4^3), con valores de remoción: 99,6% para el N-NO_3^- y 99,4% para el PO_4^3 . Los nitratos y fosfatos para el presente estudio de investigación no presentaron altas eficiencias prometedoras aplicando el humedal artificial de flujo superficial ascendente empleando al jacinto de agua (*Eichhornia crassipes spp.*), en la que se obtuvo eficiencias a los 63 días de funcionamiento nitratos (N-NO_3^-) del 23,71% y fosfato (PO_4^3) con un valor negativo de - 2 066,7 %, denotándose que los fosfatos se aumentan en el efluente.

Baquerizo y Flores (2011), describen sus resultados obtenidos de SDT (Sólidos Disueltos Totales) muestran que para los reactores con altura inicial de lodo de 28cm (R3 y R4) la máxima remoción fue de 27,23% y la remoción promedio igual a 14,34%. La presente tesis de investigación muestran resultados eficientes de SDT de un máximo 58,6% y la remoción promedio del 41,0 %, sin necesidad de utilizar lodos como sustrato.

García (2012) concluye que el tratamiento de aguas residuales domésticas con respecto al parámetro de oxígeno disuelto, solo hubo presencia de remoción en un 73% en el reactor cubierto con jacinto de agua, mientras que para el control y lenteja de agua existió un incremento de 35% y 24% respectivamente. Para la presente tesis de investigación el jacinto de agua muestra eficiencia de remoción negativa (incremento) debido a que el oxígeno disuelto aumenta progresivamente en vez de disminuir obteniendo incrementos del 2 975,0 %, denotando que el jacinto de agua actúa muy diferente al tratamiento aguas residuales industriales frente al tratamiento de aguas residuales domésticas.

Panduro (2017), resume que su reactor UASB se diseñó con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 0,8 días obteniendo una máxima eficiencia de remoción de la DBO_5 del 91,31 %; así mismo **Barraza y Palpa (2011)**, resumen que para los reactores UASB se consideró el tiempo de retención hidráulica de 2,0 días obteniendo una máxima eficiencia de remoción de la DBO_5 del 92,22 %. A comparación de las dos tesis anteriores, la presente tesis de investigación optó por un cálculo de tiempo

de retención hidráulica igual a 6,0 días, obteniéndose mayores eficiencias de DBO_5 al 98,7%, denotando que a mayor tiempo de retención hidráulica mayor es la eficiencia de remoción de la materia orgánica.

CONCLUSIONES

- La evaluación del humedal artificial concluye que si remueve significativamente a las aguas residuales provenientes del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba, demostrándose su veracidad mediante la comparación de efluentes con los valores máximos admisibles (VMA).
- El diseño del humedal artificial a nivel piloto, es un tanque de forma cilíndrica de 1,15 m de altura, 0,86 m² de área superficial, 0,97 m³ de volumen, con capacidad de 100,0 L/día y un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 6,07 días. Además los componentes del tanque son el lecho fluidizado con grava y arena gruesa, la campana separadora de gases-sólido-líquido (GSL) y las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* spp.
- En la caracterización, los parámetros fisicoquímicos presentaron variaciones en afluente y efluente, obteniéndose resultados como la disminución de la concentración en 03 parámetros, con valores de 151,7 mgO₂/L en DQO, 129,0 mgO₂/L en DBO₅ y 1 220,3 ppm en Sólidos totales disueltos; con ligero incremento en 05 parámetros con valores de 27,2 °C en Temperatura, 7,6 unidades de pH, 3,3 ppm en oxígeno disuelto, 1,9 ppm en nitratos y 25,9 ppm en fosfatos, comparando finalmente que la concentración de parámetros obtenidos están por debajo de los valores máximos admisibles (VMA).
- En la remoción del agua residual, la materia orgánica expresado como DBO₅ y DQO fueron del 85,56 % y 70,21 %, la remoción de sólidos totales disueltos 41,02 %, y el incremento en Nitratos 1 125,48 %, del Oxígeno disuelto 2 975,0 % y Fosfatos 14 604,17 %.
- Los factores externos que han influenciado en el sistema de tratamiento frente a la remoción de la materia orgánica son la temperatura, la carga de nutrientes (nitratos y fosfatos) y el tiempo de retención hidráulica (TRH) del sistema de tratamiento.

RECOMENDACIONES

- Para obtener una mejora en el diseño del humedal artificial, tendría que replantearse el cálculo matemático con carga orgánica mayores a los tabulados y con temperaturas mayores a 23 °C debido a que este parámetro modifica el dimensionamiento correspondiente.
- Realizar mayor caracterización de parámetros fisicoquímicos que no se estudiaron en el presente proyecto de investigación adecuada a los VMA, con la finalidad de tener una amplia gama de resultados en la remoción o incremento de parámetros en el efluente final.
- Para obtener una mejor remoción de aguas residuales, se tendría que trabajar con el dimensionamiento modificado, con macrofitas flotantes de tamaño adulto y su posterior cosecha como operación y mantenimiento.
- Optimizar el tiempo de retención hidráulica (TRH), con la finalidad de observar cambios en la eficiencia de tratamiento y con rangos iguales para la frecuencia de muestreos del agua residual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

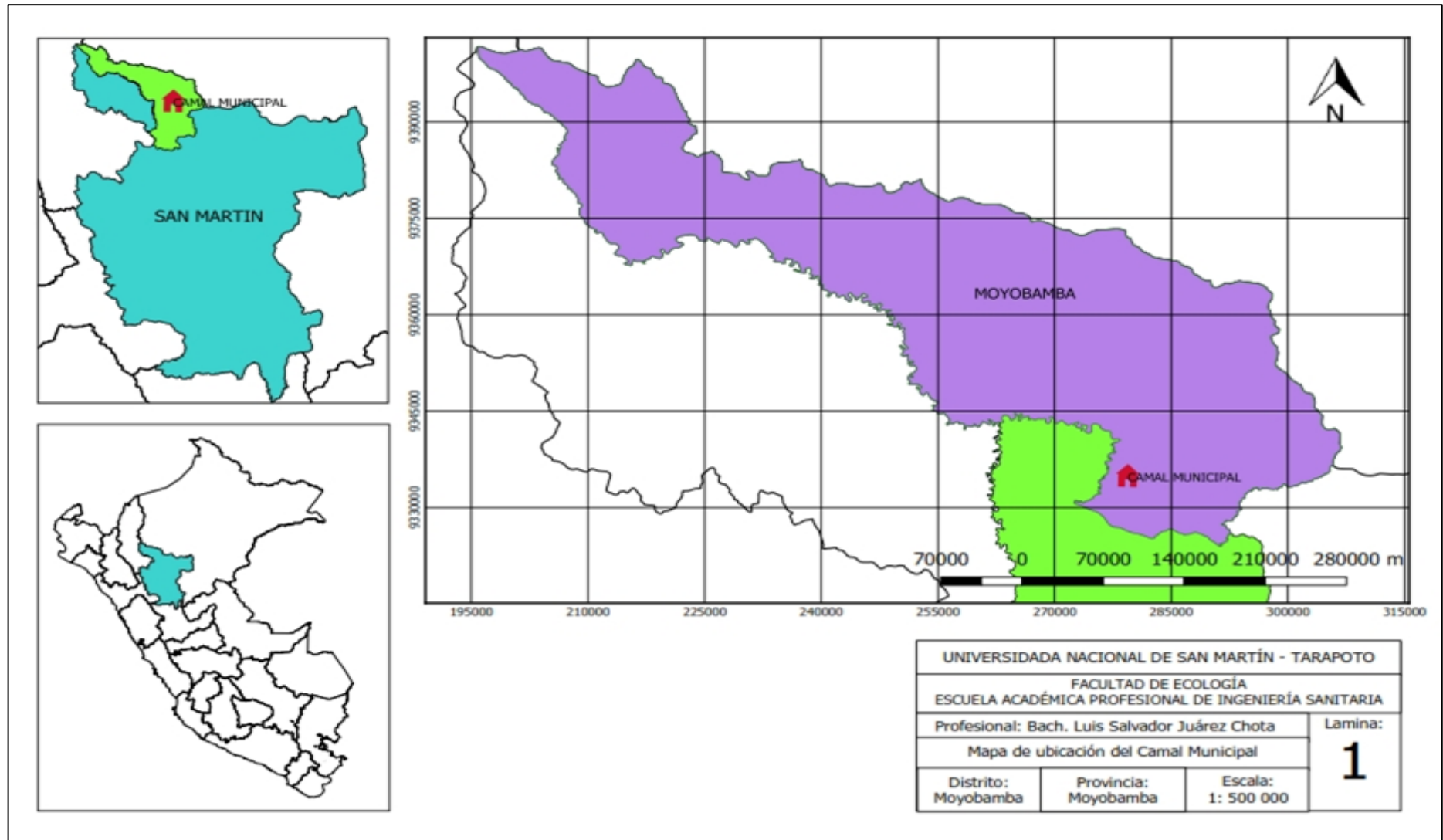
- Adalberto, J y Sagastume, L (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. Ciudad de México, México: Instituto de ingeniería.
- Artero, I. y Quiusque, M. (2012). *Desarrollo de un microhumedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario* (tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, Facultad de Química y Farmacia. El Salvador - Centro América.
- Baquerizo, F. y Flores, P. (2011). *Comportamiento de un sistema anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales de un matadero* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú.
- Barraza, A. y Palpa, G. (2011). *Comparación de eficiencias en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un camal utilizando en forma independiente Reactores UASB y Filtros contenedores a escala piloto* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú.
- Casasola, E. (2012). *Cuantificación de nutrientes (calcio, cobre, fósforo, hierro, magnesio, nitrógeno, potasio, sulfato, zinc) y determinación de contaminantes (arsénico, mercurio, plomo, cadmio) en el Jacinto de agua (Eichhornia Crassipes) del lago de Amatitlán para uso en abono orgánico* (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Química y Farmacia. Guatemala, Centro América.
- Centro de promoción de tecnologías sostenibles, (2019). *Guía técnica de producción más limpia para mataderos de bovinos*. La Paz, Bolivia: Editorial [s.n.].
- Dávalos, R. y Tuny, F. (2011). *Determinación de la eficiencia para diferentes tiempos de retención hidráulica en un reactor UASB y su post tratamiento con plantas acuáticas (Jacinto de agua) tratando agua residual domestica a escala de laboratorio* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú.
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. *Aprueba límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Perú: Diario el peruano, 17 de marzo de 2010.

- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. *Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias*. Perú: Diario el peruano, 07 de junio de 2017.
- Decreto supremo N° 011-2006-VIVIENDA. *Obras de saneamiento: Plantas de tratamiento de Aguas Residuales*. Perú: Diario el peruano, 08 de junio de 2006.
- Decreto Supremo N° 015-2012-AG. *Aprueban el reglamento sanitario del faenado de animales de abasto*. Perú: Diario el peruano, 10 de noviembre de 2012.
- Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. *Aprueba valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario*. Perú: Diario el peruano, 20 de noviembre 2009.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Editorial Antequera.
- Eduardo, A. (2015). *Evaluación de la eficiencia de la remoción de nutrientes del efluente de la PTAR de la empresa Esmeralda CORP S.A.C. mediante el uso de humedales artificiales, empleando la especie Typha Domingensis Pers. (Totora)* (Tesis de pregrado). Universidad Científica del Sur, Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú.
- Fernández, J., Beascoechea, E., Muñoz, J. & Fernández, M. (2004). *Manual de fitodepuracion. Filtros de macrofitas en flotación*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Flores, M. (2014). *Aplicación de humedal artificial con macrofitas flotantes en la recuperación de las aguas residuales domésticas, Moyobamba – San Martín* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín-t, Facultad de Ecología. Moyobamba, San Martín, Perú.
- García, D. y Leal, D. (2008). *Desarrollo de un humedal artificial piloto con especies no convencionales para mitigar la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales provenientes del centro de visitantes del parque nacional natural Amacayacu – Amazonas* (tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá, Colombia.

- García, G. (2016). *Diseño de un biodigestor para el mejoramiento de las aguas residuales en la parroquia de Tumbaco ejemplificado en los barrios Tola Chica, Tola Grande y Santa Rosa* (tesis de pregrado). Universidad de San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería. Quito, Ecuador.
- García, Z. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú.
- Medina, F. y López, E. (2015). *Determinación de la eficiencia del humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales en el barranco del sector cruce de Uchuglla de la ciudad de Moyobamba 2013* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín-t, Facultad de Ecología. Moyobamba, San Martín, Perú.
- Montalván, P. y López, K. (2017). *Eficiencia del humedal artificial con Cyperus Papyrus y Typha Angustifolia en la depuración de aguas residuales domésticas Habana – 2015* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín-t, Facultad de Ecología. Moyobamba, San Martín, Perú.
- Panduro, R. (2017). *“Tratamiento integral de las aguas residuales del Matadero Municipal de la ciudad de Moyobamba en un Biorreactor anaeróbico tipo UASB a nivel piloto”* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín-t, Facultad de Ecología. Moyobamba, San Martín, Perú.

ANEXOS

Anexo A: Mapa de ubicación del matadero municipal.



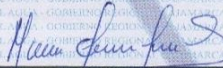


Anexo B: Caracterización preliminar de la DBO₅ (Muestras para el diseño del humedal artificial)

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA			
INFORME DE ENSAYO N° IE 0817523			
ENSAYOS		QUÍMICOS	
Código Cliente	ARI 1	ARI 2	ARI 3
Código Laboratorio	0817523-01	0817523-02	0817523-03
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial
Localización de la Muestra	Moyobamba	Moyobamba	Moyobamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
(*) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L		
		2468.0	2740.0
			2636.0
Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento Analista Responsable de Química CIP: 119544			
Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD Test	
OBSERVACIONES			
BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estándar relativa LDM: Límite detección del Método, LCM: Límite de cuantificación de los métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado Los Resultados Químicos «LCM», significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA NA: No aplica ND: No determinado (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.			
NOTAS FINALES			
✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua. ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua; su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas. ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006. ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método. ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros. ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema. ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, deberá ejercer en el plazo indicado. ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.			
Cajamarca, 31 de Agosto de 2017.			
Cód: RT-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05		Página: 2 de 2	
*LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe / laboratorio@regioncajamarca@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140			

Anexo C: Caracterización de los parámetros fisicoquímicos.

(Muestreo de la fecha 20/09/17)

 LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084				 INACAL-DA Registro N° LE-084			
INFORME DE ENSAYO N° IE 0917620							
ENSAYOS		QUÍMICOS					
Código Cliente	ARI 1		ARI 2		ARI 3		
Código Laboratorio	0917620-01		0917620-02		0917620-03		
Matriz de Agua	RESIDUAL		RESIDUAL		RESIDUAL		
Descripción	Industrial		Industrial		Industrial		
Localización de la Muestra	Moyobamba		Moyobamba		Moyobamba		
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	mg O₂/L	2.6	612.0	656.0	588.0		
 Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento Analista Responsable de Química CIP: 119544							
Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	mg O₂/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD); 5-Day BOD Test					
OBSERVACIONES							
<p>LCM: Límite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado</p> <p>Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.</p> <p>Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra:</p> <p>(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado</p> <p>(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.</p> <p>Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev.N°05 Fecha: 06/06/2017</p>							
NOTAS FINALES							
<p>✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.</p> <p>✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.</p> <p>✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.</p> <p>✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.</p> <p>✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.</p> <p>✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros</p> <p>✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.</p> <p>✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.</p> <p>✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.</p>							
Cajamarca, 13 de Diciembre de 2017.							
Página: 2 de 2							
<p>LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE</p> <p>DR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ</p> <p>e-mail: laboratorio@regionalcajamarca.gob.pe / laboratorio@regionalcajamarca@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140</p>							

Anexo D: Caracterización de los parámetros fisicoquímicos.

(Muestreo de la fecha 04/10/17)

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA			
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA			
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA			
CON REGISTRO N° LE-084			
INFORME DE ENSAYO N° IE 1017667			
ENSAYOS		QUÍMICOS	
Código Cliente	Entrada	Punto Medio	Punto Final
Código Laboratorio	1017667-01	1017667-02	1017667-03
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial
Localización de la Muestra	Matadero Municipal Moyobamba	Matadero Municipal Moyobamba	Matadero Municipal Moyobamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
(*) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	1824
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	4850
Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento Analista Responsable de Química CIP: 119544			
Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEVWV-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEVWV-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD): Closed Reflux, Colorimetric Method	
OBSERVACIONES			
LCM: Límite de cuantificación de los métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado			
Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.			
Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.			
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado			
(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.			
Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev.N°05 Fecha: 06/06/2017			
NOTAS FINALES			
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua. ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas. ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006 ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método. ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce. ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado. ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA. 			
Cajamarca, 13 de Diciembre de 2017.			
Página: 2 de 2			
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE E			
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ			
e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140			

Anexo E: Caracterización de los parámetros fisicoquímicos.

(Muestreo de la fecha 17/10/17)

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084			
INFORME DE ENSAYO N° IE 1017699			
ENSAYOS		QUÍMICOS	
Código Cliente	Ingreso	Punto Medio	Salida
Código Laboratorio	1017699-01	1017699-02	1017699-03
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial
Localización de la Muestra	Matadero Municipal Moyobamba	Matadero Municipal Moyobamba	Matadero Municipal Moyobamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	1382 23.4 27.3
Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento Analista Responsable de Química CIP: 119544			
Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WF Part 5210 B, 2 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test	
OBSERVACIONES			
LCM: Límite de cuantificación de los métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido. Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra. (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.			
NOTAS FINALES ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua. ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas. ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006. ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método. ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros. ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce. ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado. ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.			
Cajamarca, 13 de Diciembre de 2017.			
Página: 2 de 2			
*LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE E JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140			

Anexo F: Caracterización de los parámetros fisicoquímicos.

(Muestreo de la fecha 02/11/17)

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA			
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA			
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL			
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA			
CON REGISTRO N° LE-084			
Registro N° LE-084			
INFORME DE ENSAYO N° IE 1117764			
ENSAYOS		QUÍMICOS	
Código Cliente	Punto Inicio	Punto Medio	Punto Final
Código Laboratorio	1117764-01	1117764-02	1117764-03
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial
Localización de la Muestra	Moyobamba	Moyobamba	Moyobamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	940
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	3934
Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento		Analista Responsable de Química	
CIP: 119544			
Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method	
OBSERVACIONES			
LCM: Límite de cuantificación de los métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado.			
Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.			
Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.			
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado			
(*) Los Resultados son referenciales; fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.			
Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev. N° 05 Fecha: 06/06/2017			
NOTAS FINALES			
✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.			
✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.			
✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.			
✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2005.			
✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.			
✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.			
✓ Los resultados del Informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.			
✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.			
✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.			
Cajamarca, 13 de Diciembre de 2017.			
Página: 2 de 2			
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE EN			
R. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ			
E-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140			

Anexo G: Caracterización de los parámetros fisicoquímicos.

(Muestreo de la fecha 21/11/17)

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA			
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA			
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL			
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL- DA			
CON REGISTRO N° LE-084			
INFORME DE ENSAYO N° IE 1117824			
ENSAYOS		QUÍMICOS	
Código Cliente	P1 - Inicio	P2 - Medio	P3 - Final
Código Laboratorio	1117824-01	1117824-02	1117824-03
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial
Localización de la Muestra	Matadero Municipal	Matadero Municipal	Matadero Municipal
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	428 53.4 41.4
Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento Analista Responsable de Química CIP: 119544			
Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test	
OBSERVACIONES			
<p>LCM: Límite de cuantificación de los métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado</p> <p>Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.</p> <p>Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.</p> <p>(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado</p> <p>(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.</p> <p>Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev: N°05 Fecha: 06/06/2017</p>			
NOTAS FINALES			
<p>✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.</p> <p>✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.</p> <p>✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.</p> <p>✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.</p> <p>✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.</p> <p>✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.</p> <p>✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.</p> <p>✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.</p> <p>✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.</p>			
Cajamarca, 13 de Diciembre de 2017.			
Página: 2 de 2			
<p>LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE EN</p> <p>JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N, URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERU</p> <p>e-mail: laboratorio@regionalcajamarca.gob.pe / laboratorio@regionalcajamarca@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140</p>			

**Anexo H: Caracterización de los parámetros fisicoquímicos realizadas en la
Facultad de Ecología de la UNSM-t.**

Tabla 13

Caracterización de parámetros fisicoquímicos de la fecha 04/10/17.

Parámetros	Unidad	Resultado en afluente	Resultado en efluente
<i>IN SITU</i>			
Temperatura	° C	26,0	25,9
pH	Unidad de pH	6,6	6,6
<i>LABORATORIO</i>			
Oxígeno Disuelto	ppm	0,1	2,0
Sólidos Totales Disueltos	ppm	1 490,0	1 036,0
Nitratos	ppm	0,1	1,7
Fosfatos	ppm	0,4	21,0

Nota: Elaboración propia realizada en el laboratorio Ambiental de la Facultad de Ecología.

Tabla 14

Caracterización de parámetros fisicoquímicos de la fecha 02/11/17.

Parámetro	Unidad	Resultado en afluente	Resultado en efluente
<i>IN SITU</i>			
Temperatura	° C	28,3	28,7
pH	Unidad de pH	7,3	7,4
<i>LABORATORIO</i>			
Oxígeno Disuelto	ppm	0,1	4,0
Sólidos Totales Disueltos	ppm	1 750,0	725,0
Nitratos	ppm	1,3	1,0
Fosfatos	ppm	0,6	13,0

Nota: Elaboración propia realizada en el laboratorio Ambiental de la Facultad de Ecología.

Tabla 15*Caracterización de parámetros fisicoquímicos de la fecha 04/12/17.*

Parámetro	Unidad	Resultado en afluente	Resultado en efluente intermedio	Resultado en efluente
<i>IN SITU</i>				
Temperatura	° C	28,1	---	27,8
pH	Unidad de pH	5,9	---	8,6
<i>LABORATORIO</i>				
DBO ₅	mg/L	247,0	70,0	63,0
DQO	mg/L	384,0	---	187,0
Oxígeno Disuelto	ppm	0,1	---	6,0
Sólidos Totales	ppm	2 000,0	---	1 120,0
Disueltos				
Nitratos	ppm	0,4	---	2,1
Fosfatos	ppm	0,3	---	27,0

Nota: Elaboración propia realizada en el laboratorio Ambiental de la Facultad de Ecología.

Tabla 16*Caracterización de parámetros fisicoquímicos de la fecha 15/12/17.*

Parámetro	Unidad	Resultado en afluente	Resultado en efluente intermedio	Resultado en efluente
<i>LABORATORIO</i>				
DBO ₅	mg/L	114,0	92,0	88,0

Nota: Elaboración propia realizada en el laboratorio Ambiental de la Facultad de Ecología.

Tabla 17*Caracterización de parámetros fisicoquímicos de la fecha 29/12/17.*

Parámetro	Unidad	Resultado en afluente	Resultado en efluente intermedio	Resultado en efluente
<i>IN SITU</i>				
Temperatura	° C	25,5	---	26,4
pH	Unidad de pH	7,7	---	7,8
<i>LABORATORIO</i>				
DBO ₅	mg/L	169,0	93,0	36,0
DQO	mg/L	13,0	---	8,0
Oxígeno Disuelto	ppm	0,4	---	1,2
Sólidos Totales Disueltos	ppm	2 900,0	---	2 000,0
Nitratos	ppm	0,1	---	2,6
Fosfatos	ppm	0,1	---	42,4

Nota: Elaboración propia realizada en el laboratorio Ambiental de la Facultad de Ecología.

Anexo I: Aplicación de cálculos matemáticos para el humedal artificial.

1.0 Cálculo matemático para el lecho fluidizado (piedra chancada de 1", piedra chancada de 1/2", arena gruesa).

1.1. Lecho fluidizado (Piedra chancada de 1")

a) Definición de los parámetros de diseño utilizando piedra chancada 1"

Caudal de diseño (Q)	=	0,1	m ³ /día
Demanda Bioquímica de Oxígeno en afluente (DBOa)	=	2 740,0	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno en efluente (DBOe)	=	1 644,0	mg/L
% Eficiencia del medio filtrante	=	40%	

b) Dimensionamiento utilizando piedra chancada 1"

Ecuación 01 : Área Superficial (As)

$$As = Q * (LN DBOa - LN DBOe) / (KT * h * n) = 0,86 \quad m^2$$

- Constante de reacción de primer orden (Kt)

$$kt = 1,104 * 1,06^{(T_2 - 20)}$$

$$kt = 1,104 * 1,06^{(23 - 20)}$$

$$kt = 1,31$$

- Temperatura Ambiental (T₂)

$$T_2 = 23$$

- Porcentaje de porosidad del medio granular (n)

$$n = 0,40$$

- Altura de la piedra chancada 1"

$$h = 0,11 \text{ m}$$

Ecuación 02 : Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = (As * h * n) / Q = 0,39 \quad \text{días}$$

Ecuación 03 : Volumen Total de la piedra chancada 1"

$$VT = As * h = 9,41 \quad \text{horas}$$

$$= 0,10 \quad m^3$$

1.2. Lecho fluidizado (Piedra chancada de ½")

a) Definición de los parámetros de diseño utilizando piedra chancada 1/2"

Caudal de diseño (Q)	=	0,1	m ³ /día
Demanda Bioquímica de Oxígeno en afluente (DBOa)	=	1 644,0	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno en efluente (DBOe)	=	986,4	mg/L
% Eficiencia del medio filtrante	=	40%	

b) Dimensionamiento utilizando piedra chancada 1/2"

Ecuación 01 : Área Superficial (As)

$$As = Q * (LN DBOa - LN DBOe) / (KT * h * n) = 0,86 \quad m^2$$

- Constante de reacción de primer orden (Kt)

$$kt = 1,104 * 1,06^{(T_2 - 20)}$$

$$kt = 1,104 * 1,06^{(23 - 20)}$$

$$kt = 1,31$$

- Temperatura Ambiental (T₂)

$$T_2 = 23$$

- Porcentaje de porosidad del medio granular (n)

$$n = 0,38$$

- Altura de la piedra chancada 1"

$$h = 0,12 \text{ m}$$

Ecuación 02 : Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = (As * h * n) / Q = 0,39 \quad \text{días}$$

$$= 9,41 \quad \text{Horas}$$

Ecuación 03 : Volumen Total de la piedra chancada 1/2"

$$VT = As * h = 0,10 \quad m^3$$

1.3. Lecho fluidizado (arena gruesa)

a) Definición de los parámetros de diseño utilizando arena gruesa

Caudal de diseño (Q)	=	0,1	m ³ /día
Demanda Bioquímica de Oxígeno en afluente (DBOa)	=	986,4	mg/L

Demanda Bioquímica de Oxígeno en efluente (DBOe)	=	789,1	mg/L
% Eficiencia del medio filtrante	=	20%	

b) Dimensionamiento utilizando arena gruesa

Ecuación 01 : Área Superficial (As)

$$As = Q * (LN DBOa - LN DBOe) / (KT * h * n) = 0,86 \quad m^2$$

- Constante de reacción de primer orden (Kt)

$$kt = 1,104 * 1,06^{(T_2 - 20)}$$

$$kt = 1,104 * 1,06^{(23 - 20)}$$

$$kt = 1,31$$

- Temperatura Ambiental (T₂)

$$T_2 = 23$$

- Porcentaje de porosidad del medio granular (n)

$$n = 0,36$$

- Altura de la piedra chancada 1"

$$h = 0,06 \text{ m}$$

Ecuación 02 : Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = (As * h * n) / Q = 0,17 \quad \text{días}$$

$$= 4,09 \quad \text{Horas}$$

Ecuación 03 : Volumen Total de la arena gruesa

$$VT = As * h = 0,05 \quad m^3$$

2.0 Cálculo matemático para la macrofita flotante (*Eichhornia crassipes* spp).

2.1. Macrofita flotante (*Eichhornia crassipes* spp)

a) Definición de los parámetros de diseño utilizando macrofita flotante

Caudal de diseño (Q)	=	0,1	m ³ /día
Demanda Bioquímica de Oxígeno en afluente (DBOa)	=	789,1	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno en efluente (DBOe)	=	63,13	mg/L
% Eficiencia del medio filtrante	=	92%	

b) Dimensionamiento utilizando macrofita flotante

Ecuación 01 : Área Superficial (As)

$$As = Q * (LN DBOa - LN DBOe) / (Kt * h * n) = 0,82 \quad m^2$$

- Constante de reacción de primer orden (Kt)

$$kt = 1,104 * 1,06^{(T_2 - 20)}$$

$$kt = 1,104 * 1,06^{(23 - 20)}$$

$$kt = 1,31$$

- Temperatura Ambiental (T₂)

$$T_2 = 23$$

- Porcentaje de porosidad del medio granular (n)

$$n = 0,65$$

- Altura de la piedra chancada 1"

$$h = 0,36 \text{ m}$$

Ecuación 02 : Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = (As * h * n) / Q = 1,92 \quad \text{días}$$

$$= 46,05 \quad \text{Horas}$$

Ecuación 03 : Volumen Total de la macrofita flotante

$$VT = As * h = 0,29 \quad m^3$$

3.0 Cálculo matemático para el flujo ascendente.

3.1. definición de los parámetros de diseño

a)	Diámetro del tanque	=	105,0	cm
	Radio del tanque = 52,5 cm			
b)	Caudal de diseño (mL/min)	=	69,44	mL/min
	Q = 100 L/día * (1000 mL/L) * (1 día/1440 min)			
	Q = 69.44 mL/min			
c)	Tiempo de retención hidráulica (días)	=	3,2	día
d)	Cálculo del volumen del biorreactor (V _R)	=	0,32	m ³
	V _R = TRH * Q			
	V _R = 3.2 d * 69,44 mL/min * 1 440 min/d * 1 L/1 000 mL			
	V _R = 320,0 L			

e)	Cálculo del área del biorreactor (A_R)	=	8 659,01	cm ²
	$A_R = (\pi * D^2)/4$			
	$A_R = 3,14159265 * ((105*105) \text{ cm}^2)/4$			
	$A_R = 8 659,01 \text{ cm}^2$			
f)	Cálculo de la altura efectiva del biorreactor (L)	=	37,0	cm
	$L = (4*VR) / (\pi * D^2)$			
	$L = (4 * 320,0 \text{ L}) / (3,14159265 * 11 025 \text{ cm}^2 * 1 \text{ L} / 1 000 \text{ cm}^3)$			
	$L = 37,0 \text{ cm}$			
g)	Cálculo de la carga hidráulica (CH)	=	0,005	m/h
	$CH = Q/AR$			
	$CH = (69,44 \text{ mL/min} / 8 659,01 \text{ cm}^2) * 1 \text{ L} / 1 000 \text{ mL} * 1 \text{ m}^3 / 1 000 \text{ L} * 100^3 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 * 1 \text{ m} / 100 \text{ cm} * 60 \text{ min} / 1 \text{ h}$			
	$CH = 0,005 \text{ m/h}$			
3.2.	Cálculo de la velocidad de flujo (VF)	=	0,02	m/h
	$VF = 4 * CH$			
	$VF = 4 * 0,005 \text{ m/h}$			
	$VF = 0,02 \text{ m/h}$			
3.3.	Cálculo para la campana separadora de Gas-Sólido-Líquido (GSL)			
a)	Cálculo del área de abertura ($A_{ABERTURA}$)	=	2 164,75	cm ²
	$A_{ABERTURA} = Q / VF$			
	$A_{ABERTURA} = (69,44 \text{ mL/min} / 0,02 \text{ m/h}) * 60 \text{ min} / 1 \text{ h} * 1 \text{ m}^3 / 1 000 \text{ L} * 1 \text{ L} / 1 000 \text{ mL} * 10 000 \text{ cm}^2 / 1 \text{ m}^2$			
	$A_{ABERTURA} = 2 164,75 \text{ cm}^2$			
b)	Cálculo del área de la sección transversal de la campana ($A_{CAMPANA}$)	=	1 623,5	cm ²
	$A_{CAMPANA} = A_R - A_{ABERTURA} = \pi R_{CAMPANA}^2$			
	$A_{CAMPANA} = 8 659,01 \text{ cm}^2 - 2 164,7 \text{ cm}^2 = R_{CAMPANA}^2$			
	$A_{CAMPANA} = 6 494,26 \text{ cm}^2 = \pi R_{CAMPANA}^2$			
	$R_{CAMPANA} = (6 494,26 \text{ cm}^2 / \pi) ^ { (1/2)}$			
	$R_{CAMPANA} = 45,5 \text{ cm}$			
	$A_{CAMPANA} = 1 623,5 \text{ cm}^2$			
c)	Cálculo del ancho de la abertura entre la campana y el biorreactor (W_A)	=	7,0	cm
	$W_A = R_R - R_C$			

$$W_A = (105/2) \text{ cm} - 45.5 \text{ cm}$$

$$W_A = 7,0 \text{ cm}$$

$$W_T \text{ asumido} = 21 \text{ cm}$$

$$H_T \text{ asumido} = 35 \text{ cm}$$

Se asumieron para el diseño, tanto el ancho mínimo interno de la campana ($W_T = 21 \text{ cm}$) y la altura tope del separador GSL ($H_T = 35 \text{ cm}$).

- d) Cálculo de la abertura del separador (W_G) = 28,00 cm
 $W_G = R_R - W_A - 0.50 * H_T$
 $W_G = (105/2) \text{ cm} - 7.0 \text{ cm} - 0,50 * (35 \text{ cm})$
 $W_G = 27,97 \text{ cm}$
 $W_G = 28,00 \text{ cm}$
 Ángulo de la campana = 13°
- e) Cálculo de la altura de la campana (H_G) = 6,0 cm
 $H_G = W_G * \text{TG } 13^\circ$
 $H_G = 28,0 \text{ cm} * 0,23$
 $H_G = 6 \text{ cm}$
- f) Cálculo de la altura de traslapo (T_V) = 10,6 cm
 $T_V = 1,50 * W_A$
 $T_V = 1,50 * 7,0 \text{ cm}$
 $T_V = 10,6 \text{ cm}$
- g) Cálculo del ancho de los deflectores (W_D) = 17,6 cm
 $W_D = T_V + W_A$
 $W_D = 10,6 \text{ cm} + 7,0 \text{ cm}$
-

Anexo J: Dimensionamiento del humedal artificial.

Dimensionamiento del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofitas flotantes (*Eichhornia Crassipes Spp*).

- 1) Día de arranque = 01/09/17

- 2) Caudal de diseño = 100,0 L/día
 - DBO₅ del diseño (mgO₂/L) = 2 740,0

- 3) Dimensiones del lecho fluidizado
 - Altura de lecho fluidizado = 0,29 m
 - h Piedra chancada 1" = 0,11 m
 - h Piedra chancada 1/2" = 0,12 m
 - h Arena gruesa = 0,06 m
 - Área de lecho fluidizado = 0,86 m²
 - Piedra chancada 1" = 0,86 m²
 - Piedra chancada 1/2" = 0,86 m²
 - Arena gruesa = 0,86 m²
 - Volumen de lecho fluidizado = 0,25 m³
 - Piedra chancada 1" = 0,10 m³
 - Piedra chancada 1/2" = 0,10 m³
 - Arena gruesa = 0,05 m³
 - TRH de lecho fluidizado = 0,95 días
 - Piedra chancada 1" = 0,39 día
 - Piedra chancada 1/2" = 0,39 día
 - Arena gruesa = 0,17 día

- 4) Dimensiones de la macrofita flotante
 - Altura de la macrofita flotante = 0,36 m
 - h planta acuática = 0,36 m
 - Área de la macrofita flotante = 0,82 m²
 - Macrofita flotante = 0,82 m²
 - Volumen de la macrofita flotante = 0,29 m³
 - Macrofita flotante = 0,29 m³
 - TRH de la macrofita flotante = 1,92 días
 - Macrofita flotante = 1,92 días

- 5) Dimensiones del flujo ascendente
 - Altura del flujo ascendente = 0,37 m
 - h reactor = 0,37 m
 - Tiempo de retención hidráulica (TRH) = 3,2 día
 - Cálculo del área del reactor (A_R) = 0,86 m²
 - Cálculo del volumen del reactor (V_R) = 0,32 m³
 - Velocidad del flujo ascendente = 0,02 m/h
 - Área de la campana (A_{CAMPANA}) = 1 623,5 cm² -

A_{CAMPANA} = 1 623,5 cm²

- $R_{\text{CAMPANA}} = 45,5 \text{ cm}$
- Cálculo de la abertura (W_A) = 7,0 cm
- Ancho mínimo de la campana (W_T) = 21 cm
- Altura tope del separador GSL (H_T) = 24 cm
- Cálculo de abertura del separador (W_G) = 28 cm
- Ángulo de la campana = 13°
- Cálculo de la altura de la campana (H_G) = 6,0 cm
- Cálculo de la altura de traslapo (T_V) = 10,6 cm
- Cálculo del ancho de deflectores (W_D) = 17,6 cm

6) Dimensiones del tanque para el humedal artificial

6.1. Altura del tanque (H_{tanque}) = 1,15 m

- Altura de lecho fluidizado = 0,29 m
- Altura de la macrofita flotante = 0,36 m
- Altura del flujo ascendente = 0,37 m
- Altura de borde libre = 0,08 m
- Altura de evacuación de sólidos = 0,05 m

6.2. Área del tanque (A_{tanque}) = 0,86 m²

- Área de lecho fluidizado = 0,86 m²
- Área de la macrofita flotante = 0,82 m²
- Área del flujo ascendente (A_R) = 0,86 m²
- Área de borde libre = 0,86 m²
- Área de evacuación de sólidos = 0,86 m²

6.3. Ancho del tanque = 1,05 m

- Radio del tanque (R_{tanque}) = 52,5 cm
- Diámetro del tanque = 105,0 cm

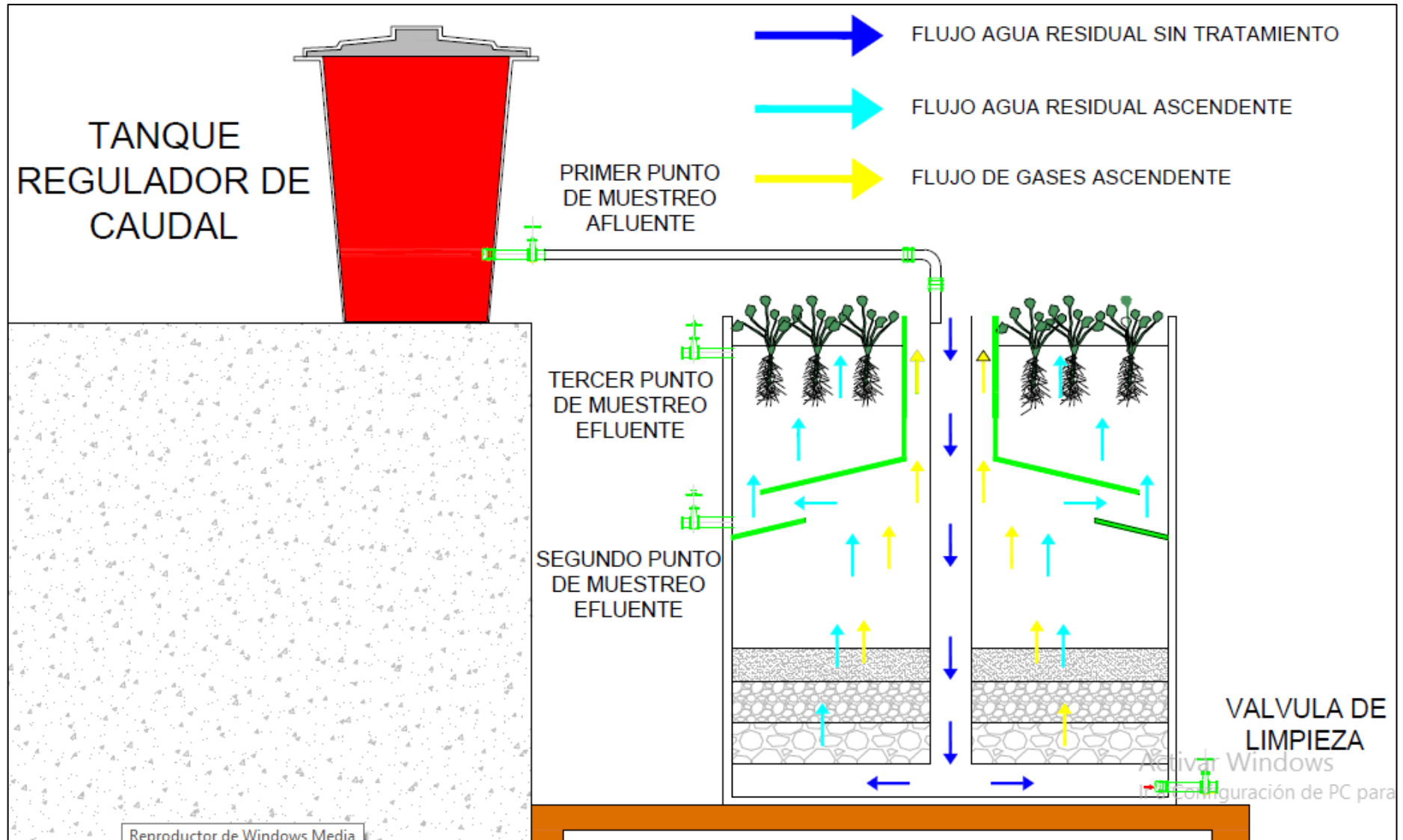
6.4. Volumen del tanque (V_{tanque}) = 0,97 m³

- Volumen de lecho fluidizado = 0,25 m³
- Volumen de la macrofita flotante = 0,29 m³
- Volumen del flujo ascendente = 0,32 m³
- Volumen de borde libre = 0,043 m³
- Volumen evacuación de sólidos = 0,069 m³

6.5. TRH del tanque = 6,07 días

- TRH de lecho fluidizado = 0,95 días
 - TRH de la macrofita flotante = 1,92 días
 - TRH del flujo ascendente = 3,2 días
 - TRH del borde libre = 0,0 días
 - TRH del evacuación de sólidos = 0,0 días
-

Anexo K: Diseño del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofita flotante



**Anexo L: Puesta en marcha del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente
con macrofitas flotantes.**

Fotografía N° 01: Sistema de tratamiento propuesto a inicios de la ejecución de tesis.



Fotografía N° 02: Sistema de tratamiento propuesto a los 63 días de ejecución.



Fotografía N° 03: Tamaño máximo de la planta acuática a los 82 días de ejecución.



Fotografía N° 04: Muestreo de aguas residuales



Anexo M: Ficha técnica de recolección de datos de los análisis de laboratorio.


El tiempo de arranque del sistema de tratamiento fue el 01/09/17										
Parámetros de evaluación	Tiempo	20 días	34 días	47 días	63 días	82 días	95 días	106 días	120 días	Promedio
	Fecha	20/09/2017	04/10/2017	17/10/2017	02/11/2017	21/11/2017	04/12/2017	15/12/2017	29/12/2017	
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Afluente	612,0	1 824,0	1 382,0	940,0	428,0	247,0	114,0	169,0	714,0
	Intermedio	656,0	198,0	23,4	26,1	53,4	70,0	92,0	93,0	151,5
	Efluente	588,0	175,5	27,3	12,5	41,4	63,0	88,0	36,0	129,0
DQO (mgO ₂ /L)	Afluente	-----	4 850,0	-----	3 954,0	-----	384,0	-----	13,0	2 300,0
	Efluente	-----	315,1	-----	96,5	-----	187,0	-----	8,0	151,7
STD (ppm)	Afluente	-----	1 490,0	-----	1 750,0	-----	2 000,0	-----	2 900,0	2 035,0
	Efluente	-----	1 036,0	-----	725,0	-----	1 120,0	-----	2 000,0	1 220,3
Nitratos (ppm)	Afluente	-----	0,1	-----	1,3	-----	0,4	-----	0,1	0,5
	Efluente	-----	1,7	-----	1,0	-----	2,1	-----	2,6	1,9
OD (ppm)	Afluente	-----	0,1	-----	0,1	-----	0,1	-----	0,4	0,2
	Efluente	-----	2,0	-----	4,0	-----	6,0	-----	1,2	3,3
T (°C)	Afluente	-----	26,0	-----	28,3	-----	28,1	-----	25,5	27,0
	Efluente	-----	25,9	-----	28,7	-----	27,8	-----	26,4	27,2
Fosfato (ppm)	Afluente	-----	0,4	-----	0,6	-----	0,3	-----	0,1	0,4
	Efluente	-----	21,0	-----	13,0	-----	27,0	-----	42,4	25,9
pH	Afluente	-----	6,6	-----	7,3	-----	5,9	-----	7,7	6,9
	Efluente	-----	6,6	-----	7,4	-----	8,6	-----	7,8	7,6

Anexo N: Eficiencia de tratamiento mensual.

El tiempo de arranque del sistema de tratamiento fue el 01/09/17										
Parámetros de evaluación	Tiempo	34 días	%	63 días	%	95 días	%	120 días	%	Promedio de % eficiencia
	Fecha	04/10/2017	Eficiencia	02/11/2017	Eficiencia	04/12/2017	Eficiencia	29/12/2017	Eficiencia	
DBO (mgO ₂ /L)	Afluente	1 824,0	90,4%	940,0	98,7%	247,0	74,5%	169,0	78,7%	85,56 %
	Efluente	175,5		12,5		63,0		36,0		
DQO (mgO ₂ /L)	Afluente	4 850,0	93,5%	3 954,0	97,6%	384,0	51,3%	13,0	38,5%	70,21 %
	Efluente	315,1		96,5		187,0		8,0		
STD (ppm)	Afluente	1 490,0	30,5%	1 750,0	58,6%	2 000,0	44,0%	2 900,0	31,0%	41,02 %
	Efluente	1 036,0		725,0		1 120,0		2 000,0		
Nitratos (ppm)	Afluente	0,1	-1 600,0%	1,3	23,1%	0,4	- 425,0%	0,1	-2 500,0%	-1 125,48 %
	Efluente	1,7		1,0		2,1		2,6		
OD (ppm)	Afluente	0,1	-1 900,0%	0,1	-3 900,0%	0,1	-5 900,0%	0,4	- 200,0%	-2 975,0 %
	Efluente	2,0		4,0		6,0		1,2		
T (°C)	Afluente	26,0	0,4%	28,3	-1,4%	28,1	1,1%	25,5	-3,5%	-0,87 %
	Efluente	25,9		28,7		27,8		26,4		
Fosfato (ppm)	Afluente	0,4	-5 150,0%	0,6	-2 066,7%	0,3	-8 900,0%	0,1	-42 300,0%	-14 604,17 %
	Efluente	21,0		13,0		27,0		42,4		
pH	Afluente	6,6	0,0%	7,3	-1,4%	5,9	-45,8%	7,7	-1,3%	-12,11 %
	Efluente	6,6		7,4		8,6		7,8		

Anexo O: Valores Máximos Admisibles (VMA).

El Peruano
Lima, viernes 20 de noviembre de 2009

 **NORMAS LEGALES**

406305

Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario

**DECRETO SUPREMO
N° 021-2009-VIVIENDA**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el Artículo 2° de la Ley N° 27792, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, establece que es competencia del Ministerio, formular, aprobar, ejecutar y supervisar las políticas de alcance nacional aplicables en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento, correspondiéndole por tanto dictar normas de alcance nacional y supervisar su cumplimiento;

Que, asimismo el literal a) del Artículo 8° del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2002-VIVIENDA, establece que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento diseña, norma y ejecuta la política nacional y acciones del sector en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento;

Que, la Ley N° 26338, Ley General de Servicios de Saneamientos, en adelante la Ley General, ha declarado que dichos servicios son de necesidad y utilidad pública y de preferente interés nacional, cuya finalidad es proteger la salud de la población y el ambiente;

Que, el Artículo 15° de la Ley General, establece que los usuarios de los servicios de saneamiento tienen la obligación de hacer uso adecuado de dichos servicios, no dañar la infraestructura correspondiente y cumplir con las normas que los Reglamentos de las entidades prestadoras establezcan; asimismo dispone que el daño o la depredación de los equipos e instalaciones de los servicios de saneamiento; así como el uso indebido de los mismos serán sancionados en la forma que establezca el Reglamento de la Ley General y las disposiciones que para el efecto dicte la Superintendencia, sin perjuicio de la responsabilidad penal que tuviese el infractor.

Que, mediante Decreto Supremo N° 023-2005 VIVIENDA se aprobó el Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, en adelante el TUO del Reglamento;

Que, el literal g) del Artículo 56° del TUO del Reglamento establece como derecho de las EPS suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes industriales que se vierten en él, no cumplan con los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad vigente, quedando la EPS facultada para cobrar por los gastos incurridos en la suspensión y reposición de dicho servicio; por otro lado el literal h) del mismo artículo dispone que en casos especiales las EPS pueden cobrar el costo adicional por las cargas en el sistema de alcantarillado que superen los límites establecidos por cada EPS en su Reglamento de Prestación de Servicios, indicando que dicho costo adicional será considerado como un servicio colateral;

Que, el tercer párrafo del Artículo 79° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, establece que corresponde a la autoridad sectorial competente la autorización y el control de las descargas de agua residual a los sistemas de drenaje urbano o alcantarillado;

Que, las descargas de aguas residuales no domésticas en la red de alcantarillado sanitario contienen concentraciones elevadas de sustancias contaminantes o tóxicas que deben ser reguladas, controladas y fiscalizadas, a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos, disminuyendo los costos de su operación y mantenimiento, y evitando el deterioro de los procesos de tratamiento de las aguas residuales;

Que, por otro lado la presencia de sustancias nocivas en concentraciones elevadas en las aguas residuales que descargan a las redes de alcantarillado pone en peligro la salud de los seres humanos;

Que, es necesario regular las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, a fin de evitar el deterioro y asegurar el adecuado funcionamiento de los sistemas de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales, garantizando la sostenibilidad del tratamiento de las aguas residuales, estableciendo y aprobando para este caso Valores Máximos Admisibles (VMA) en lugar de Límites Máximos Permisibles, pues estos últimos son parámetros de orden ambiental que se aplican a las descargas de efluentes en cuerpos receptores y tiene influencia en el ecosistema y el ambiente;

Que, en ese sentido resulta necesario modificar e incorporar las disposiciones pertinentes establecidas en el TUO del Reglamento de la Ley General a fin de concordar la nomenclatura y definición de los VMA;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del Artículo 118° de la Constitución Política del Perú, Leyes N° 26338, N° 27792, N° 29338, Decreto Supremo N° 023 2005-VIVIENDA y sus modificatorias, y demás normas pertinentes.

DECRETA:

Artículo 1°.- Finalidad, Ámbito de aplicación y obligatoriedad de la norma

La presente norma regula mediante Valores Máximos Admisibles (VMA) las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales.

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aplicables en el ámbito nacional y son de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario; su cumplimiento es exigible por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento - EPS, o las entidades que hagan sus veces.

Artículo 2°.- Aprobación de Valores Máximos Admisibles (VMA) para el sector saneamiento

Apruébese los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 que forman parte integrante de la presente norma.

Los usuarios cuyas descargas sobrepasen los valores contenidos en el Anexo N° 1, deberán pagar la tarifa establecida por el ente competente, la cual es complementaria al reglamento de la presente norma, pudiéndose llegar en los casos que se establezca en el reglamento, incluso a la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario.

Los parámetros contenidos en el Anexo N° 2 no pueden ser sobrepasados. En caso se sobrepase dichos parámetros, el usuario será sujeto de suspensión del servicio.

Artículo 3°.- Definición de Valores Máximos Admisibles (VMA)

Entiéndase por Valores Máximos Admisibles (VMA) como aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Artículo 4°.- Pago por exceso de concentración en la descarga de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario

Las EPS o las que hagan sus veces, podrán cobrar a los usuarios no domésticos el pago adicional, de acuerdo a la normatividad vigente, correspondiente al exceso de concentración de los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de

Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (AyG), medidos en la caja de registro de la red de alcantarillado o un dispositivo adecuado para este proceso, conforme al procedimiento que se establecerá en el Reglamento de la presente norma.

La metodología para la determinación de los pagos adicionales por exceso de concentración respecto de los valores máximos admisibles, será elaborada y aprobada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS, en un plazo no mayor de la fecha de entrada en vigencia del Reglamento de la presente norma. Dicha metodología deberá ser incorporada en el Reglamento de Prestación de Servicios correspondiente a cada EPS o las entidades que hagan sus veces.

Artículo 5°.- Suspensión del Servicio de Alcantarillado

Las EPS o las entidades que hagan sus veces se encuentran facultadas en virtud de la presente norma a imponer el cobro de tarifas aprobadas por la SUNASS e incluso disponer la suspensión del servicio de descargas al sistema de alcantarillado en los casos que se regulen en el reglamento y que deriven de la vulneración de los anexos N°1 y N°2.

Artículo 6°.- Caso fortuito o fuerza mayor

Cuando por caso fortuito o fuerza mayor el usuario no doméstico efectúe descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario superando los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecido en el Anexo N° 2 de la presente norma, las EPS o las entidades que hagan sus veces, evaluarán si procede exonerar temporalmente al usuario no doméstico de los alcances del artículo 5°, de acuerdo a lo establecido en el reglamento de la presente norma.

Artículo 7°.- Control de las aguas residuales no domésticas

El monitoreo de la concentración de parámetros de descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, estará a cargo de las EPS o las entidades que hagan sus veces, contando para ello con la participación de laboratorios debidamente acreditados ante INDECOPI. Los pagos deberán ser asumidos por el usuario no doméstico de acuerdo al procedimiento que el ente competente establecerá concordante con la presente norma. La recolección de las muestras será realizada de manera inopinada, conforme al procedimiento establecido en el reglamento de la presente norma.

Artículo 8°.- Actualización de los VMA

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento se encuentra autorizado a modificar los Valores Máximos Admisibles a través de una Resolución Ministerial. Para tal efecto, la Dirección Nacional de Saneamiento, evaluará y, de ser el caso, sustentará la modificación y actualización de los parámetros de los Valores Máximos Admisibles, señalados en los Anexos N° 1 y N° 2, previo análisis y estudio efectuado por las EPS o las entidades que hagan sus veces, de acuerdo a la caracterización del tipo de descarga no doméstica vertida a los sistemas de alcantarillado.

Artículo 9°.- Prohibiciones

Queda totalmente prohibido descargar directa o indirectamente a los sistemas de alcantarillado aguas residuales o cualquier otro tipo de residuos sólidos, líquidos o gaseosos que en razón de su naturaleza, propiedades y cantidad causen por sí solos o por interacción con otras descargas algún tipo de daño, peligro e inconveniente en las instalaciones de los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales según lo indicado en el Reglamento de la presente norma.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

PRIMERA.- La presente norma entrará en vigencia conjuntamente con la aprobación de su Reglamento, el cual será elaborado por el Ministerio de Vivienda,

Construcción y Saneamiento en un plazo máximo de trescientos sesenta y cinco (365) días calendario, contados a partir de la publicación de la presente en el Diario Oficial El Peruano.

SEGUNDA.- Los usuarios que a la fecha de entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, se encuentren efectuando descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, deberán adecuar sus descargas a las disposiciones establecidas en la presente norma, en un plazo no mayor de cinco (05) años.

En el caso de nuevos usuarios del sistema de alcantarillado sanitario las disposiciones de la presente norma serán de aplicación inmediata.

TERCERA.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, mediante Resolución Ministerial, aprobará las normas complementarias que sean necesarias, para la aplicación e implementación del presente Decreto Supremo.

CUARTA.- El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS MODIFICATORIAS

ÚNICA.- Modifíquense los literales g) y h) del Artículo 56° del Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA y sus modificatorias, con el texto siguiente:

Artículo 56°.- Son derechos de la EPS:
(...)

g) Suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes no domésticos que se vierten en él, no cumplan con los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos en la normatividad vigente. Las EPS o las entidades que hagan sus veces, quedan facultadas para cobrar por los gastos incurridos en la suspensión y reposición de dicho servicio.

h) Cobrar el costo adicional por las cargas contaminantes descargados en el sistema de alcantarillado que superen los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos por la normatividad vigente. Dicho pago adicional será incorporado en el Reglamento de Prestación de Servicios de cada EPS o las entidades que hagan sus veces.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS DEROGATORIAS

ÚNICA.- Deróguense todas las normas que se opongan al presente Decreto Supremo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima a los diecinueve días del mes de noviembre del año dos mil nueve.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO N° 01

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	100

ANEXO N° 02**Valores Máximos Admisibles (1)**

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN ⁻	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ²⁻	500
Sulfuros	mg/L	S ²⁻	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amónico	mg/L	NH ₄ ⁺	80
pH (2)	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables (2)	ML/h	S.S.	8.5
Temperatura(2)	°C	T	<35

(1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, será precisada en el reglamento de la presente norma tomando como referencia el código CIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deberán cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo.

(2) Estos parámetros, serán tomadas de muestras puntuales. El valor de los demás parámetros, serán determinados a partir del análisis de una muestra compuesta.

Anexo P: Remoción de la materia orgánica (DBO₅) en diferentes proyectos de investigación.

Proyecto de Investigación	Tipo de Agua Residual	Sistema de tratamiento	Planta o macrofitas	TRH (días)	Afluente del sistema de tratamiento (mg/L)	Efluente del sistema de tratamiento (mg/L)	% Eficiencia de DBO ₅	TME (días)	Nº página de la referencia citada
1. Flores, M. (2014).	Agua residual doméstica (ARD)	Humedal artificial	<i>Eichhornia Crassipes</i>	0,03	250,0	40,0	84,00%	120	57
2. Montalván, P. y López, K. (2017)	Agua residual doméstica (ARD)	Humedal artificial	<i>Cyperus Papyrus</i> y <i>Typha Angustifolia</i>	0,04	227,0	75,0	66,96%	120	65
3. Medina, F. y López, E. (2015).	Agua residual doméstica (ARD)	Humedal artificial	<i>Arundo Donax</i>	0,12	249,0	97,0	61,04%	90	58
4. Panduro, R. (2017).	Agua residual agroindustrial (ARI)	Reactor UASB	-----	0,80	2 796,0	243,0	91,31%	90	60
5. Barraza, A. y Palpa, G. (2011).	Agua residual agroindustrial (ARI)	Reactor UASB	-----	2,00	720,26	56,04	92,22%	100	155
6. Dávalos, R. y Tuny, F. (2011).	Agua residual doméstica (ARD)	Sedimentador + Reactor UASB + Humedal artificial	<i>Eichhornia Crassipes</i>	4,51	245,40	6,60	97,31%	49	227
7. Juárez, L. (2018).	Agua residual agroindustrial (ARI)	Humedal artificial	<i>Eichhornia Crassipes</i>	6,07	940,0	12,5	98,70%	63	87